

## 蕲艾干物质及矿质营养元素累积与分配特征

郭璐娟, 陈昌婕, 李金鑫, 方艳, 张宝徽, 刘大会\*

(湖北中医药大学中药资源中心, 武汉 430065)

**[摘要]** **目的:**明确蕲艾干物质及矿质元素累积与分配规律,为高产和养分资源高效利用提供技术支撑。**方法:**选择“蕲青1号”和“蕲黄1号”2个蕲艾栽培品种为试材,研究不同时期蕲艾不同器官干物质的构成特点、各器官矿质元素含量和累积分配特性及蕲艾叶片挥发油含量和2种指标组分桉油精、龙脑的动态变化。**结果:**2—3月为蕲艾生长初期,干物质主要分配在叶片;进入4月份蕲艾生长加快,4—6月中旬为营养生长盛期,干物质主要分配于茎及叶;6月下旬蕲艾进入生殖生长期,干物质主要分配于茎,8月花期后不再进行干物质积累。全生育期蕲艾挥发油含量在整个营养生长盛期维持在1.10%以上的较高水平,6月14日最高可达1.33%(蕲青1号)、1.23%(蕲黄1号),桉油精相对质量分数在营养生长期达到峰值为8.67%(蕲青1号)、13.07%(蕲黄1号),龙脑相对质量分数在生长初期达到峰值为2.63%(蕲青1号)、5.94%(蕲黄1号),叶片中矿质元素氮、磷、钾、锌同挥发油含量和桉油精、龙脑相对含量呈正相关。9种矿质元素中,大量元素氮、磷、钾、钙的含量和微量元素铁、锌的含量在生长初期达到最高值,以茎、叶含量高;大量元素镁和微量元素锰、铜的含量在营养生长期含量最高,此时期其他元素含量下降,养分逐渐向蕾、花等器官中转移。全生育期中不同器官的钾、钙、锌的分布特征表现为叶>茎>根,氮、磷、铜、镁、锰的分布特征表现为叶>根>茎,铁的分布特征表现为根>叶>茎。蕲艾干物质总量与营养元素吸收量间呈正相关关系,蕲艾对大量元素吸收表现为钾>氮>磷>钙>镁,各元素吸收比约为2.66:2.51:0.6:0.11:0.04,对微量元素吸收表现为锰>铁>锌>铜,各元素吸收比例约为0.25:0.17:0.05:0.04。药材生产过程中,每生产蕲艾药材100 kg需要5种大量元素的量分别约为钾4.11 kg,氮3.58 kg,磷0.91 kg,钙0.18 kg,镁0.06 kg,需要5种微量元素的量分别约为锰6.64 g,铁2.56 g,锌1.30 g,铜0.92 g。**结论:**蕲艾应施足有机肥和磷、钾肥做底肥,4—6月营养生长盛期是蕲艾干物质积累量最大的时期,也是营养元素需求的最大效率期,应及时追肥和早追肥,施肥以氮肥为主,并加以适量微肥,钙、镁肥从营养中期开始需求较大,后期应及时施入保证留种田植株营养生长,为蕲艾药材的品质提供质量保障。

**[关键词]** 蕲艾; 生长时期; 干物质; 挥发油; 矿质元素; 累积; 分配

**[中图分类号]** R284.2;R289;R22;R2-031;R33 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2022)24-0186-11

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20221615

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20221021.1120.002.html>

**[网络出版日期]** 2022-10-21 15:10

### Accumulation and Distribution of Dry Matter and Mineral Elements in *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai*

GUO Lujian, CHEN Changjie, LI Jinxin, FANG Yan, ZHANG Baohui, LIU Dahui\*

(Institute of Chinese Material Science, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China)

**[Abstract]** **Objective:** To clarify the accumulation and distribution characteristics of dry matter and mineral elements in *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai*, and to provide technical support for the high yield of and efficient utilization of nutrients in this medicinal species. **Method:** Two cultivars of this species, Qiqing 1 and Qihuang 1 were selected, and the composition of dry matter in different organs, the content, accumulation, and distribution of mineral elements in each organ of the two cultivars, and the dynamic changes of volatile oil

**[收稿日期]** 2022-07-20

**[基金项目]** 国家中医药管理局青年岐黄学者支持项目;湖北省现代农业产业技术体系项目(HBHZD-ZB-2020-005);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21);湖北省教育厅中青年人才项目(Q20212001)

**[第一作者]** 郭璐娟,在读硕士,从事中药资源与中药质量评价研究,E-mail:849829439@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@hbtc.edu.cn

content and index components eucalyptol and borneol in leaves of the two cultivars were monitored at different growth stages. **Result:** The period from February to March marked the early growth stage of Qiai, and the dry matter was mainly distributed in the leaves. It accelerated the growth in April, and the period from April to mid-June witnessed the vigorous vegetative growth of Qiai, during which the dry matter was mainly found in the stems and leaves. It began the reproductive growth from late June and the dry matter was mainly distributed in the stems. In the flowering stage in August, no dry matter accumulation occurred. As for the volatile oil, the content was high ( $> 1.10\%$ ) at the vigorous vegetative growth stage and peaked on June 14 (1.33% in Qiqing 1, and 1.23% in Qihuang 1). The relative mass fraction of eucalyptol was the maximum at the vegetative growth stage (8.67% in Qiqing 1, and 13.07% in Qihuang 1). The relative mass fraction of borneol peaked at the early growth stage (2.63% in Qiqing 1, and 5.94% in Qihuang 1). The content of nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc in leaves was in significantly positive correlation with the content of volatile oil and the relative content of eucalyptol and borneol. The content of macroelements nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium and trace elements iron and zinc peaked at the early growth stage, and the content was the highest in stem and leaf. The content of macroelement magnesium and trace elements manganese and copper was the highest at vegetative growth stage when the content of other elements decreased and the nutrients were gradually transferred to the buds, flowers and other organs. In the whole growth period, the distribution of potassium, calcium, and zinc was in the order of leaf  $>$  stem  $>$  root, and the distribution of nitrogen, phosphorus, copper, magnesium, and manganese followed the order of leaf  $>$  root  $>$  stem. The distribution of iron was in the order of root  $>$  leaf  $>$  stem. There was a significantly positive correlation between the total amount of dry matter and the absorption of nutrients in 'Qiai'. The absorption of macroelements by Qiai was in the order of potassium  $>$  nitrogen  $>$  calcium  $>$  phosphorus  $>$  magnesium, and the ratio of absorbed elements was about 2.66: 2.51: 0.6: 0.11: 0.04. The absorption of trace elements followed the order of manganese  $>$  iron  $>$  zinc  $>$  copper, and the ratio of absorbed elements was about 0.25: 0.17: 0.05: 0.04. In terms of the production of medicinal materials, 'Qiai' needed about 4.11 kg potassium, 3.58 kg nitrogen, 0.91 kg phosphorus, 0.18 kg calcium, 0.06 kg magnesium, about 6.64 g manganese, 2.56 g iron, 1.30 g zinc, and 0.92 g copper to produce 100 kg medicinal materials. **Conclusion:** Enough organic fertilizer and phosphorus and potassium fertilizers should be applied as base fertilizers for Qiai. The vegetative growth stage (April-June) marks the high accumulation of dry matter and large demand of nutrients, during which topdressing should be conducted timely and early, especially nitrogen fertilizer, and appropriate amount of micro-element fertilizer should be added. Qiai needs a large amount of calcium and magnesium fertilizers from the mid-vegetative growth stage, and they should be applied in time in the late stage to ensure the vegetative growth of the plants for seeds and the quality of the medicinal material of Qiai.

**[Keywords]** *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai*; growth stage; dry matter accumulation; volatile oils; mineral element; accumulation; distribution

艾为菊科蒿属多年生草本植物,其干燥叶片具有温经止血、散寒止痛、祛湿止痒的功效<sup>[1]</sup>。艾叶作为我国传统大宗药材,目前被广泛应用于医药、日化及畜牧行业<sup>[2]</sup>。由于艾叶在艾灸和大健康产业发展迅速,现湖北、河南、河北、湖南、安徽、江西等省已开始大面积人工栽培。其中湖北蕲春的“蕲艾”、河南汤阴的“北艾”、浙江宁波的“海艾”和河北安国的“祁艾”被著称为“四大名艾”。产自湖北蕲州的蕲艾,被誉为“艾中之王”。李时珍在《本草纲目》中曾记载:“艾叶自成化以来,则以蕲州者为胜,用充

方物,天下重之,谓之蕲艾”。近年来,蕲艾产业逐渐发展成蕲春县的区域特色经济产业,逐渐形成规模化的蕲艾种植区域与生产加工产业链<sup>[3]</sup>,现蕲春县蕲艾的人工种植面积已超过1.4万hm<sup>2</sup>。

合理施肥是保证作物高产优质高效的关键技术措施之一,而矿质元素吸收累积与分配规律是指指导作物合理施肥的重要参数。近年来,中药材的矿质营养元素累积与分配规律也引起大家的关注。如红花在整个生长发育过程中对养分的累积量表现为钾 $>$ 氮 $>$ 磷,不同生育期各器官氮、磷、钾含量表

现不同,红花各器官中钾含量高于氮、磷含量,钾元素常作为红花道地药材质量评价指标,氮元素对红花籽粒产量形成起决定作用,在氮素充分的条件下,增施磷肥才能以磷促氮,提高产量<sup>[4]</sup>;不同生育期菘蓝对氮、磷、钾的吸收量为氮>钾>磷,在生长至60 d时干物质累积达到峰值,整个生育期对氮的吸收累积量最大,氮、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O吸收比例约为7.78:1:3.20,生长前期是叶片中氮钾素积累的关键时期<sup>[5]</sup>;黄花蒿在整个生育期对5种元素需求的大小顺序为氮>钾>镁>钙>磷,生殖生长后期为最佳采收期,在快速生长阶段对养分的需求量大,以氮、钾和镁肥为主<sup>[6]</sup>。近年来本课题组对蕲春各乡镇蕲艾种植地块土壤肥力进行系统评价,并在蕲春采用大田试验分别进行了蕲艾氮肥、磷肥、钾肥施用量研究<sup>[7-10]</sup>,以及有机肥-无机肥配施对蕲艾生长和品质的影响研究<sup>[11]</sup>,而关于蕲艾不同生长时期的干物质积累及其营养元素吸收分配特征还未见报道。本试验以湖北2个蕲艾品系为材料,对人工栽培过程中蕲艾植株不同器官的干物质积累与氮、磷、钾等9种矿质营养元素含量及累积分配特性进行了系统研究,并对不同时期蕲艾叶片的总挥发油含量和2种主要指标性成分桉油精和龙脑进行动态分析,以期明确蕲艾不同生长时期对矿质元素的需求及吸收特点,确定蕲艾矿质元素与药材质量间的相关性,为蕲艾的科学栽培及施肥管理提供科学依据。

## 1 材料

**1.1 仪器** 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、TANKEL-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),Bio-Tek Synergy型酶标仪(美国Gene公司),A580型双光束紫外-可见分光光度计(上海翱艺仪器有限公司),EX125DZH型1/10万电子天平(奥豪斯仪器上海有限公司)。

**1.2 供试材料** 试验在湖北省武汉市湖北中医药大学药用植物园内进行(东经114°15'50"、北纬30°27'4",海拔19 m),属亚热带湿润季风气候,年平均气温15~18℃,无霜期211~272 d,降水量1200~1500 mm;试验地土壤类型为黄棕壤,pH为6.80,有机质20.72 g·kg<sup>-1</sup>,全氮1.07 g·kg<sup>-1</sup>,全磷0.77 g·kg<sup>-1</sup>,全钾22.37 g·kg<sup>-1</sup>。试验用蕲艾种源引种自湖北蕲春,为艾的栽培变种,经湖北中医药大学刘大会教授鉴定为菊科蒿属蕲艾(*Artemisia argyi* var. *argyi*

cv. *Qiai*)。蕲艾品种为课题组选育的蕲青1号和蕲黄1号两个品系。试验地为两年生老艾地,2020年的蕲艾地下老根茎2021年重新发芽生长,田间蕲艾生长密度为42株/m<sup>2</sup>。

**1.3 蕲艾生物量获取及采样方法** 样品于2021年3月5日开始采样,共12个采收时期,每个采收期一般间隔时间30 d,在传统记载两个艾叶采收的时间农历三月三和五月五分别间隔7 d采样1次,具体采收日期分别为3月5日、3月21日、4月7日、4月14日、4月21日、5月21日、6月7日、6月14日、6月21日、7月21日、8月21日和9月21日。每个采收时期在蕲艾两个品系种植地中随机选择分布平均的6个采集点分别进样品采集。每个点随机采集10株无病虫害的植株。

## 2 方法

**2.1 干物质含量测定** 取样后及时将根(包括根茎)、茎、叶各器官剪开,根、茎等用蒸馏水洗净吸干表面水分,称定鲜质量,于105℃烘箱中杀青15 min,在65℃烘干至恒重,分别称取干重。每2个采集点混合成1个重复,每批样品设置3个重复。

**2.2 总挥发油及主要组分含量测定** 参照2020年版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)(四部)通则“2204挥发油测定法”测定蕲艾艾叶挥发油含量,每批次药材以同样的方法提取3次,计算蕲艾挥发油得率的平均值。挥发油得率=挥发油体积(mL)/艾叶质量(g)×100%。参照2020年版《中国药典》(一部)通则“0521气相色谱法测定”,参考马琳等<sup>[10]</sup>的实验条件,采用气相色谱(GC)对提取到的蕲艾叶片挥发油进行定量分析,采用Mainlib质谱数据库对GC-MS得到的挥发油总离子流图中的各成分进行检索,用面积归一法计算得出艾叶挥发油中主要特征组分桉油精、龙脑的相对含量<sup>[11]</sup>。

**2.3 矿质元素含量测定** 植株样本经冲洗、杀青、烘干后记录干重,计算各器官干质量,样品粉碎后用于矿质元素含量的分析。植株样品采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>法消化,取消煮液利用凯氏定氮法测氮、钼锑抗比色法测磷;另取样品0.1 g,用1 mol·L<sup>-1</sup>盐酸浸提30 min,滤过并定容,采用火焰法-原子吸收分光光度法测定钾、钙、镁、铁、锌、锰等元素;石墨炉法-原子吸收分光光度法测定铜元素<sup>[12]</sup>。

**2.4 数据处理与分析** 分配率=各器官单株干物质质量/单株总干物质质量×100%<sup>[13]</sup>;阶段累积率=(下一时期单株干物质质量-上一时期单株干物质质量)/全

生育期各阶段单株干物质积累的总量 $\times 100\%$ ;元素积累量=器官干物质质量 $\times$ 元素含量;阶段分配率=各时期各器官中矿质元素积累量/各时期各器官相应矿质元素积累量总和 $\times 100\%$ <sup>[14]</sup>。采用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行统计分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 蕲艾干物质的动态积累与分配规律

**3.1.1 蕲艾干物质动态累积规律** 蕲艾出苗后,单株干物质的质量随生长时期的推移呈快速上升趋势,见表1。2种蕲艾变化趋势较为一致,以蕲青1号为例,3月蕲艾各器官干物质积累较少,单株干物质质量为2.66 g/株左右,阶段累积率仅为1.78%,说明2—3月蕲艾各器官合成代谢缓慢,养分积累较少;4—6月蕲艾干物质迅速累积,到6月14日植株单株干物质质量达到顶峰为59.84 g/株左右,阶段累积率为30.62%,说明该阶段蕲艾进入快速生长期,主要以茎和叶片的干物质增长为主,为蕲艾营养生长期;6月下旬开始蕲艾生长缓慢,蕲艾中下部叶片开始大量黄化枯萎,蕲艾单株干物质质量较前期开始下降,到7月时阶段累积率为负数,说明6月下旬蕲艾进入生殖生长期;8—9月蕲艾主秆叶片大部分枯萎,转而进入以蕾、花为主的花期,植株总干物质质量下降至53.36 g/株左右。综合2种蕲艾,在营养生长旺盛期(6月上、中旬),蕲艾单株叶片最多可达15.90~19.40 g/株,按照42株/m<sup>2</sup>密度和每667 m<sup>2</sup>实地种植500 m<sup>2</sup>面积(除沟),理论上叶片产量为333.90~407.40 kg/667 m<sup>2</sup>。

**3.1.2 蕲艾干物质动态分配规律** 2种蕲艾在生育期内各器官干物质在整株中的分配规律相似,以蕲青1号为例,生长初期蕲艾根系生长缓慢,3月时干物质分配主要集中在叶片,分配率最高为49.45%;营养生长期蕲艾地上部分生长旺盛,茎秆变粗,茎部干物质分配率由生长初期的30.77%最高上升至54.97%,叶部干物质分配率较生长初期逐步下降,各器官分配比为茎>叶>根;生殖生长期蕲艾叶部开始枯萎凋落,茎部仍保持旺盛,干物质累积最高,干物质分配率最高可达59.99%,此阶段各器官分配比仍为茎>叶>根;花期同生殖生长期分配情况相似。全生育期中,叶的干物质所占比重随生育期推进总体呈下降趋势,由生长初期的49.45%降到花期的35.23%,茎所占比重随生育期推进呈上升趋势,由生长初期的30.77%上升到花期的54.22%,根在全生育期中所占比例保持在一个相对较低的水平,整体在9.08%至19.78%,在生殖生长初期达到

最高值19.78%,猜测此时根部在为蕾和花的生长进行营养物质积累。见表1。

#### 3.2 蕲艾叶片中挥发油含量及主要特征组分的动态变化规律

**3.2.1 蕲艾挥发油含量分析** 不同生育期2个品系蕲艾叶片样品的挥发油得率呈相似的变化趋势。挥发油得率随生育期的变化呈现先增加后降低的趋势,蕲艾营养生长盛期(4月7日—6月21日)挥发油得率均处于较高水平,整体可达1%以上,第8个采收时期(6月14日)蕲青1号和蕲黄1号的得率分别达到峰值,为1.33%、1.23%。6月下旬到9月,蕲艾进入生殖生长,蕲艾中下部叶片开始黄化枯萎,上部叶片形成异形叶逐步变小,蕲艾叶片挥发油类成分含量逐渐降低,至第12个采收期(9月21日)蕲艾挥发油得率仅为0.53%。见图1。

**3.2.2 蕲艾挥发油主要特征组分分析** 通过GC-MS分析结果,采用峰面积归一化法计算蕲艾叶片挥发油中2种主要特征组分桉油精、龙脑的相对质量分数。2个品系蕲艾叶片中桉油精、龙脑的相对质量分数变化趋势相似,桉油精在营养生长期相对质量分数明显高于其他时期,第7个采收期(6月7日)相对质量分数达到峰值,分别为8.67%(蕲青1号)、13.07%(蕲黄1号);龙脑在整个生育期中呈现出逐渐降低的趋势,生长初期相对质量分数明显高于其他时期,2个品系分别在3月5日和4月7日达到峰值,为2.63%(蕲青1号)、5.94%(蕲黄1号)。综合蕲艾挥发油含量变化情况,可以看出4—6月蕲艾中2种主要特征组分相对含量也同样较高,此时蕲艾药材质量佳,9月份后随着艾叶植株的老化挥发性成分已降至较低水平。见图1。

#### 3.3 蕲艾不同生育期植株营养元素的吸收和分配规律

**3.3.1 蕲艾不同器官各生育期营养元素含量** 2种蕲艾根、茎、叶各器官在不同生育期中各营养元素的含量变化较大且变化趋势基本一致。大量元素氮元素在蕲艾全生育期中呈现出降低的趋势,在各器官中质量分数为0.61%~4.45%,各器官以叶部氮含量最高(2.43%~4.45%),在各生育期中叶部氮含量都明显高于根部和茎部,总体上表现为叶>根>茎。磷元素在蕲艾全生育期中各器官间的含量相近,叶部含磷量在0.36%~0.76%、根部含磷量在0.31%~0.62%、茎部含磷量在0.27%~0.45%,总体上表现为叶>根>茎。钾元素在蕲艾全生育期中各器官质量分数为0.79%~3.59%,各器官中钾元素含量

表1 蕪艾各时期不同器官干物质的质量与分配规律 (n=3)

Table 1 Accumulation and distribution of dry matter in different organs of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* in different growth periods (n=3)

品种	生长期	根		茎		叶		单株	
		质量/g/株 ( $\bar{x}\pm s$ )	分配率 /%	质量/g/株 ( $\bar{x}\pm s$ )	分配率 /%	质量/g/株 ( $\bar{x}\pm s$ )	分配率 /%	质量/g/株 ( $\bar{x}\pm s$ )	阶段累计率 /%
蕪青1号	3-05	0.18±0.02 <sup>d</sup>	19.78	0.28±0.07 <sup>f</sup>	30.77	0.45±0.10 <sup>d</sup>	49.45	0.95±0.19 <sup>e</sup>	1.78
	3-21	0.35±0.07 <sup>d</sup>	16.67	0.84±0.12 <sup>ef</sup>	40.00	0.91±0.05 <sup>d</sup>	43.33	2.66±0.23 <sup>de</sup>	3.20
	4-07	0.43±0.06 <sup>d</sup>	10.14	1.91±0.14 <sup>ef</sup>	45.05	1.90±0.21 <sup>cd</sup>	44.81	4.11±0.16 <sup>de</sup>	2.72
	4-14	0.84±0.17 <sup>cd</sup>	11.97	3.64±0.83 <sup>ef</sup>	51.85	2.54±0.55 <sup>cd</sup>	36.18	8.92±1.59 <sup>cd</sup>	9.01
	4-21	1.46±0.24 <sup>cd</sup>	11.77	6.16±0.40 <sup>e</sup>	49.68	4.78±0.56 <sup>c</sup>	38.55	12.50±1.67 <sup>c</sup>	6.71
	5-21	3.16±0.89 <sup>bc</sup>	11.13	15.60±1.73 <sup>d</sup>	54.97	9.62±1.88 <sup>b</sup>	33.90	26.70±5.26 <sup>b</sup>	26.61
	6-07	4.00±1.20 <sup>b</sup>	9.72	22.24±1.54 <sup>cd</sup>	54.34	15.90±4.02 <sup>a</sup>	35.94	41.14±7.48 <sup>b</sup>	27.06
	6-14	6.86±1.28 <sup>a</sup>	13.70	23.82±4.87 <sup>bc</sup>	47.56	19.40±4.56 <sup>a</sup>	38.74	59.84±6.91 <sup>a</sup>	30.62
	6-21	7.60±1.24 <sup>a</sup>	14.31	26.62±2.49 <sup>b</sup>	50.11	18.90±1.28 <sup>a</sup>	35.58	57.44±4.47 <sup>a</sup>	4.42
	7-21	7.68±1.18 <sup>a</sup>	12.18	36.86±8.26 <sup>a</sup>	58.43	18.54±1.73 <sup>a</sup>	29.39	57.20±4.34 <sup>a</sup>	-4.95
蕪黄1号	3-05	0.36±0.07 <sup>e</sup>	19.67	0.50±0.11 <sup>e</sup>	27.32	0.97±0.19 <sup>e</sup>	53.01	2.43±0.33 <sup>e</sup>	4.66
	3-21	0.53±0.07 <sup>e</sup>	16.01	1.33±0.14 <sup>e</sup>	40.18	1.45±0.41 <sup>e</sup>	43.81	4.09±0.85 <sup>e</sup>	3.18
	4-07	0.87±0.11 <sup>e</sup>	19.59	1.46±0.20 <sup>e</sup>	32.88	2.11±0.14 <sup>e</sup>	47.52	4.34±0.31 <sup>e</sup>	0.48
	4-14	0.88±0.16 <sup>e</sup>	13.75	2.60±0.43 <sup>e</sup>	40.63	2.92±0.56 <sup>ef</sup>	45.63	8.32±2.45 <sup>e</sup>	7.63
	4-21	2.74±0.61 <sup>de</sup>	12.71	9.44±1.80 <sup>d</sup>	62.34	5.38±0.73 <sup>c</sup>	24.95	15.64±1.91 <sup>d</sup>	23.63
	5-21	4.58±0.34 <sup>cd</sup>	15.19	16.04±0.71 <sup>d</sup>	53.18	9.54±1.08 <sup>d</sup>	31.63	28.46±1.19 <sup>c</sup>	15.00
	6-07	4.96±0.70 <sup>bc</sup>	13.05	22.34±2.35 <sup>c</sup>	58.79	10.70±2.08 <sup>cd</sup>	28.16	41.14±2.48 <sup>b</sup>	24.32
	6-14	6.68±1.41 <sup>abc</sup>	14.06	25.00±1.36 <sup>c</sup>	52.61	15.84±0.88 <sup>ab</sup>	33.33	52.42±4.36 <sup>a</sup>	21.63
	6-21	6.78±1.60 <sup>ab</sup>	13.87	24.78±1.69 <sup>c</sup>	50.70	17.32±1.60 <sup>a</sup>	35.43	51.60±5.51 <sup>a</sup>	-1.57
	7-21	8.42±2.82 <sup>a</sup>	13.35	38.50±2.77 <sup>a</sup>	61.03	16.16±3.75 <sup>ab</sup>	25.62	51.48±3.21 <sup>a</sup>	-0.23
8-21	8.46±0.66 <sup>a</sup>	15.21	33.74±2.51 <sup>b</sup>	60.66	13.42±1.14 <sup>bc</sup>	24.13	50.40±3.65 <sup>a</sup>	-2.07	
9-21	8.16±0.90 <sup>a</sup>	13.01	40.10±6.61 <sup>a</sup>	63.96	14.44±1.74 <sup>b</sup>	23.03	52.14±5.69 <sup>a</sup>	3.34	

注: 同列不同小写字母表示差异具有统计学意义 P<0.05

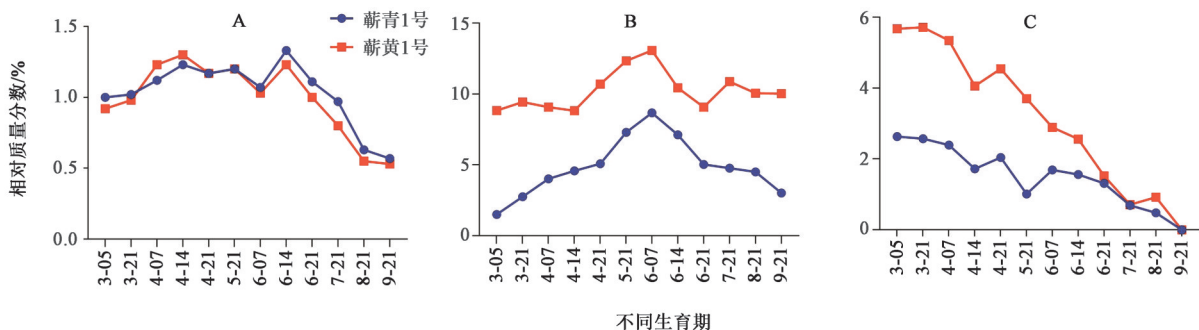


图1 不同生育期蕪艾叶片中挥发油得率(A)、桉油精相对含量(B)、龙脑相对含量(C)的动态变化

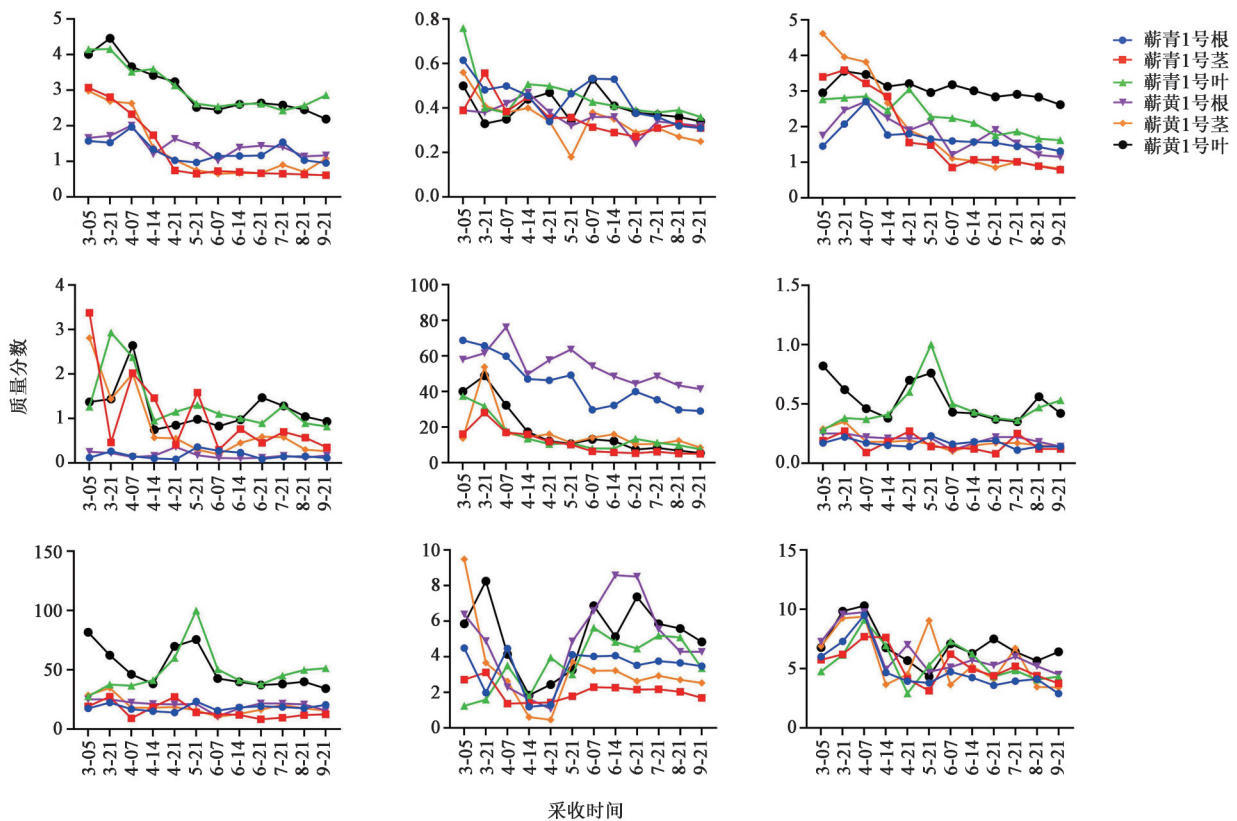
Fig. 1 Dynamic changes of volatile oil yield (A), relative content of eucalyptol (B) and relative content of borneol (C) in leaves of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* at different growth stages

总体呈下降趋势,茎部含量下降最为明显,由4.64%下降至0.79%,总体上表现为叶>茎>根。钙元素全

生育期中各器官质量分数为0.10~3.38 mg·g<sup>-1</sup>,主要利用器官是叶片和茎,根中的钙元素含量最低,各

时期维持在0.01%~0.02%，总体上表现为叶>茎>根。镁元素在全生育期中各器官含量最低，各器官维持在0.14~1.00 mg·g<sup>-1</sup>，总体上表现为叶>根>茎。微量元素铁元素各器官间全生育期中质量分数维持在4.92~68.83 mg·kg<sup>-1</sup>，主要在蕲艾根部含量较高。锰元素含量在各器官中变化幅度较大，为17.50~99.93 mg·kg<sup>-1</sup>，在各器官中以叶部含量最高。铜元素在各器官中质量分数变化为1.19~5.63 mg·kg<sup>-1</sup>，在根、茎、叶中含量相近。锌元素在各器官中质量分数变化为2.91~10.03 mg·kg<sup>-1</sup>，各器官

含量在营养生长初期达到最高值，分别在根、茎、叶部质量分数为9.52、9.38、10.03 mg·kg<sup>-1</sup>。综上，全生育期中，生长初期大量元素氮、磷、钾、钙和微量元素铁的含量明显高于其他时期，铜元素的含量较低；营养生长期蕲艾氮、磷、钾、钙的含量相对生长初期有一定程度降低，铜元素此时相较生长初期含量增大；生殖生长期蕲艾各元素含量最低。各器官全生育期中元素含量大小总体表现为钾、钙、锌为叶>茎>根，氮、磷、铜、镁、锰为叶>根>茎，铁为根>叶>茎。见图2。



注：依次代表氮(%)、磷(%)、钾(%)、钙(mg·g<sup>-1</sup>)、铁(mg·kg<sup>-1</sup>)、镁(mg·g<sup>-1</sup>)、锰(mg·kg<sup>-1</sup>)、铜(mg·kg<sup>-1</sup>)、锌(mg·kg<sup>-1</sup>)元素

图2 2种种源蕲艾不同生长时期各元素在不同器官中的含量

Fig. 2 Contents of elements in different parts of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* at different growth stages

**3.3.2 蕲艾不同器官各生育期对大量元素积累和分配规律** 比较不同生长时期蕲艾各器官对5种大量元素的积累和分配。以蕲青1号为例，不同生育期相比，生长初期蕲艾各器官对5种大量元素的积累量普遍较低。营养生长期蕲艾各器官对氮、磷、钾营养元素的积累量上升明显，全株积累分别在6月14日和6月21日达到峰值(2 660.5 mg/株、707.0 mg/株、2 723.4 mg/株)，此时期为蕲艾需肥最大时期，也是施肥的最大效率期。进入生殖生长期后，钙元素全株积累量在7月21日达到峰值

(121.84 mg/株)，镁元素的全株积累量在花期9月21日达到峰值(42.15 mg/株)。全生育期中5种大量元素总积累量由高至低依次为钾、氮、磷、钙、镁(17 097.2、17 035.6、4 181.8、697.7、292.5 mg/株)，各元素积累量比例为2.66:2.51:0.6:0.11:0.04。见表2。

2种蕲艾在营养生长期对5种大量元素氮、磷、钾、钙、镁的积累量最高，分别占各元素全生育期积累量约31.18%、35.06%、33.28%、32.23%、33.89%，5种大量元素积累量的次高时期为生殖生长期，积累量最低的时期为生长初期，表明5种大量元素的

表2 不同生长时期蕲艾各器官5种大量矿质元素的积累和分配

Table 2 Accumulation and distribution of mineral elements in various organs of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* in different growth periods

元素	采收日期	蕲青1号							蕲黄1号						
		矿质元素积累量/mg/株				矿质元素阶段分配率/%			矿质元素积累量/mg/株				矿质元素阶段分配率/%		
		根	茎	叶	单株	根	茎	叶	根	茎	叶	单株	根	茎	叶
氮	3-05	14.9	29.1	39.4	83.5	0.34	1.08	0.40	40.3	72.4	97.4	210.1	0.83	2.27	1.0
	3-21	40.6	74.6	110.6	225.8	0.94	2.75	1.11	70.3	110.0	182.4	362.7	1.45	3.46	1.9
	4-07	80.7	95.6	144.6	321.0	1.86	3.52	1.45	87.2	114.1	158.8	360.2	1.80	3.58	1.7
	4-14	118.9	154.7	320.8	594.6	2.74	5.70	3.22	99.8	115.6	284.5	500.0	2.06	3.63	3.0
	4-21	128.5	92.7	391.8	613.1	2.96	3.42	3.93	336.4	214.6	668.7	1 219.8	6.95	6.74	7.0
	5-21	258.9	174.6	700.0	1 133.6	5.96	6.44	7.02	409.8	213.4	717.1	1 340.4	8.47	6.70	7.5
	6-07	373.3	236.4	823.9	1 433.8	8.59	8.72	8.26	419.6	267.4	1 007.9	1 694.9	8.67	8.40	10.5
	6-14	663.3	404.6	1 505.9	2 573.9	15.2	14.9	15.1	728.6	351.2	1 362.9	2 442.7	15.0	11.0	14.2
	6-21	697.1	396.7	1 566.6	2 660.5	16.0	14.6	15.7	743.0	345.7	1 362.2	2 451.0	15.3	10.8	14.2
	7-21	880.8	371.8	1 389.9	2 642.6	20.2	13.7	13.9	720.7	463.3	1 328.1	2 512.2	14.8	14.5	13.8
8-21	582.9	356.5	1 454.6	2 394.1	13.4	13.1	14.5	574.5	352.8	1 234.8	2 162.1	11.8	11.0	12.9	
9-21	506.9	325.5	1 526.1	2 358.5	11.6	12.0	15.3	610.0	563.1	1 141.8	2 315.0	12.6	17.6	11.9	
磷	3-05	5.8	3.7	7.2	16.7	0.39	0.32	0.5	9.48	13.6	12.1	35.2	0.78	1.22	0.84
	3-21	12.8	14.8	10.6	38.2	0.85	1.26	0.7	15.5	16.7	13.5	45.8	1.27	1.50	0.93
	4-07	20.5	15.7	15.5	51.8	1.37	1.34	1.03	18.2	16.4	15.1	49.9	1.49	1.48	1.05
	4-14	40.6	40.1	45.2	126.0	2.71	3.42	3.00	39.1	33.2	36.6	108.9	3.20	2.98	2.53
	4-21	42.3	44.2	62.3	149.0	2.82	3.77	4.14	78.4	70.1	97.0	245.6	6.43	6.28	6.69
	5-21	123.8	95.5	126.5	346.0	8.25	8.14	8.40	91.0	51.2	96.7	239.0	7.46	4.59	6.68
	6-07	172.5	101.8	138.5	412.9	11.4	8.67	9.20	148.1	156.3	218.0	522.4	12.1	14.0	15.0
	6-14	304.6	166.6	235.6	707.0	20.2	14.1	15.6	188.7	183.4	214.9	587.1	15.4	16.4	14.8
	6-21	225.6	162.1	233.9	621.7	15.0	13.8	15.5	123.8	149.6	196.0	469.5	10.1	13.4	13.5
	7-21	205.9	177.3	217.3	600.6	13.7	15.1	14.4	175.0	159.5	190.4	525.1	14.3	14.2	13.1
8-21	181.1	186.7	220.7	588.6	12.0	15.9	14.6	166.3	136.0	181.4	483.8	13.6	12.1	12.5	
9-21	165.4	165.4	192.1	522.9	11.0	14.0	12.7	166.8	130.3	177.2	474.4	13.6	11.6	12.2	
钾	3-05	13.8	32.3	26.3	72.4	0.24	0.78	0.36	42.5	112.2	71.69	226.4	0.74	2.58	0.67
	3-21	55.1	95.4	74.7	225.3	0.97	2.31	1.03	100.6	161.9	145.6	408.1	1.76	3.72	1.35
	4-07	111.0	132.3	117.1	360.5	1.95	3.20	1.61	117.6	165.7	150.6	434.0	2.05	3.81	1.40
	4-14	157.2	254.2	218.5	630.0	2.77	6.14	3.00	186.3	222.1	260.4	668.9	3.25	5.10	2.42
	4-21	225.2	193.7	381.2	800.2	3.96	4.68	5.24	392.1	392.1	662.5	1 446.8	6.85	9.01	6.15
	5-21	441.3	395.1	608.7	1 445.2	7.76	9.55	8.37	606.2	463.9	842.4	1 912.5	10.5	10.6	7.82
	6-07	518.0	275.7	726.6	1 520.4	9.11	6.66	9.99	497.7	456.6	1 308.2	2 262.6	8.69	10.4	12.1
	6-14	901.2	615.0	1 207.0	2 723.4	15.8	14.8	16.5	807.2	539.9	1 577.8	2 925.0	14.0	12.4	14.6
	6-21	923.3	640.2	1 047.2	2 610.8	16.2	15.4	14.3	985.5	438.6	1 465.4	2 889.6	17.2	10.0	13.6
	7-21	826.5	577.7	1 063.9	2 468.1	14.5	13.9	14.6	787.6	519.9	1 498.1	2 805.6	13.7	11.9	13.9
8-21	811.0	503.7	939.5	2 254.3	14.2	12.1	12.9	604.8	453.6	1 426.3	2 484.7	10.5	10.4	13.2	
9-21	700.0	421.5	864.4	1 986.0	12.3	10.1	11.8	599.6	427.5	1 366.1	2 393.2	10.4	9.82	12.6	
钙	3-05	0.11	3.21	1.20	4.52	0.18	1.31	0.31	0.61	6.83	3.33	10.7	1.11	4.10	0.83
	3-21	0.69	1.22	7.79	9.70	1.10	0.50	1.99	0.90	5.89	5.89	12.6	1.64	3.54	1.47
	4-07	0.62	8.30	9.78	18.7	0.99	3.40	2.50	0.56	8.72	11.4	20.7	1.02	5.24	2.87
	4-14	0.89	13.0	8.47	22.3	1.42	5.33	2.17	1.33	4.74	6.24	12.3	2.43	2.85	1.56
	4-21	1.00	5.13	14.3	20.5	1.60	2.10	3.68	7.43	11.35	17.5	36.3	13.5	6.82	4.39
	5-21	9.61	42.1	34.7	86.5	15.3	17.2	8.88	4.84	8.54	27.8	41.2	8.84	5.13	6.97

续表 2

元素	采收日期	蕲青1号							蕲黄1号						
		矿质元素积累量/mg/株				矿质元素阶段分配率/%			矿质元素积累量/mg/株				矿质元素阶段分配率/%		
		根	茎	叶	单株	根	茎	叶	根	茎	叶	单株	根	茎	叶
镁	6-07	8.76	9.73	35.6	54.1	13.9	3.98	9.13	4.53	7.82	34.1	46.5	8.27	4.70	8.54
	6-14	13.2	43.6	57.4	114.3	21.1	17.8	14.7	5.24	23.5	50.8	79.6	9.57	14.1	12.7
	6-21	5.39	26.9	53.2	85.5	8.60	11.0	13.6	6.19	30.4	75.8	112.4	11.3	18.2	18.9
	7-21	8.01	40.0	73.7	121.8	12.7	16.3	18.8	8.24	29.8	65.8	103.9	15.0	17.9	16.4
	8-21	8.49	32.2	50.3	91.1	13.5	13.2	12.8	6.05	15.1	52.4	73.5	11.0	9.08	13.1
	9-21	5.87	18.6	43.7	68.3	9.37	7.64	11.2	8.86	13.5	48.4	70.9	16.1	8.15	12.1
	3-05	0.16	0.18	0.27	0.61	0.27	0.34	0.15	0.61	0.70	1.99	3.30	0.91	1.22	1.15
	3-21	0.59	0.72	1.01	2.32	1.00	1.35	0.56	1.02	1.43	2.54	4.99	1.52	2.50	1.47
	4-07	0.70	0.37	1.52	2.59	1.18	0.69	0.85	0.95	0.78	2.00	3.73	1.42	1.36	1.16
	4-14	1.34	1.61	3.66	6.61	2.26	3.01	2.04	1.75	1.50	3.16	6.41	2.61	2.62	1.83
	4-21	1.75	3.38	7.50	12.6	2.95	6.33	4.17	4.33	3.92	14.4	22.7	6.45	6.85	8.37
	5-21	6.14	3.74	26.7	36.5	10.3	7.00	14.8	5.98	4.55	21.6	32.1	8.91	7.95	12.5
	6-07	5.19	4.22	16.2	25.6	8.76	7.90	9.02	4.53	4.11	17.6	26.3	6.75	7.18	10.2
	6-14	10.3	6.90	24.7	41.9	17.4	12.9	13.7	8.91	7.86	22.0	38.7	13.2	13.7	12.7
	6-21	11.3	4.79	22.7	38.9	19.1	8.97	12.6	11.3	8.77	19.0	39.2	16.9	15.3	11.0
	7-21	6.29	14.3	20.5	41.1	10.6	26.7	11.4	11.3	8.75	18.0	38.1	16.8	15.2	10.4
	8-21	7.92	6.79	26.6	41.3	13.3	12.7	14.7	9.07	7.56	28.2	44.8	13.5	13.2	16.3
	9-21	7.47	6.40	28.2	42.1	12.6	11.9	15.7	7.30	7.30	21.9	36.5	10.8	12.7	12.6

最大效率期均为营养生长期,其次为生殖生长期,再次为花期,生长初期效率最低,蕲艾植株对5种大

量元素的需求量可总结表现为营养生长期>生殖生长期>花期>生长初期,见表3。

表3 不同生长时期蕲艾氮、磷、钾、钙、镁分配规律

Table 3 Distribution law of N, P, K, Ca and Mg of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* at different growth stages

%

不同生长时期	氮		磷		钾		钙		镁	
	蕲青1号	蕲黄1号	蕲青1号	蕲黄1号	蕲青1号	蕲黄1号	蕲青1号	蕲黄1号	蕲青1号	蕲黄1号
生长初期	11.18	15.10	9.13	12.82	12.22	15.27	10.87	14.94	8.47	14.33
营养生长期	31.28	31.18	35.06	35.61	33.28	34.04	36.56	32.23	35.62	33.89
生殖生长期	28.62	28.25	29.23	26.26	29.71	27.31	29.73	29.57	27.38	26.93
花期	28.92	25.48	26.58	25.30	24.80	23.39	22.85	23.26	28.54	24.85

3.4 蕲艾叶片中矿质元素与挥发油间的相关性分析 将不同生育期蕲艾叶片中9种矿质元素与3个药材质量性状总挥发油得率、桉油精相对含量、龙脑相对含量进行相关性分析。以蕲青1号为例,蕲艾叶片中氮元素同磷、钾、钙、铁、锌元素和总挥发油得率、桉油精相对含量、龙脑相对含量呈显著正相关,同镁、锰、铜元素呈显著负相关;磷元素同钾、铁元素和总挥发油得率、桉油精相对含量、龙脑相对含量呈正相关,同其他元素呈负相关;钾元素同钙、铁、锌元素和总挥发油得率、桉油精相对含量、龙脑相对含量呈正相关,同镁、锰、铜元素呈负相关;钙元素同锌元素、铁元素、龙脑相

对含量呈正相关,同镁、锰、铜元素及总挥发油得率、桉油精相对含量呈负相关;镁元素同锰、铜元素和总挥发油得率、桉油精相对含量呈正相关,同铁元素、锌元素、龙脑相对含量呈负相关;铁元素同锌元素和总挥发油得率、龙脑相对含量呈正相关,同锰、铜元素和桉油精相对含量呈负相关;锌元素同总挥发油得率、桉油精相对含量、龙脑相对含量呈正相关,同锰、铜元素呈负相关;锰元素同铜元素和总挥发油得率、桉油精相对含量呈正相关,同龙脑相对含量呈负相关;铜元素同桉油精相对含量呈正相关,同总挥发油得率和龙脑相对含量呈负相关,见表4。

表4 蕲艾叶片中矿质元素与挥发油间的相关性分析

Table 4 Correlations of mineral elements and essential oils in leaves of *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai*

项目	氮	磷	钾	铁	钙	镁	锌	锰	铜	挥发油	桉油精	龙脑
氮	1	0.550	0.730 <sup>2)</sup>	0.869 <sup>2)</sup>	0.609 <sup>1)</sup>	-0.451	0.243	-0.391	-0.879	0.115	0.704 <sup>1)</sup>	0.758 <sup>2)</sup>
磷	0.550	1	0.491	0.625 <sup>1)</sup>	-0.113	-0.132	-0.163	-0.102	-0.582 <sup>1)</sup>	0.218	0.332	0.509
钾	0.730 <sup>2)</sup>	0.491	1	0.558	0.594 <sup>1)</sup>	-0.093	0.281	-0.047	-0.545	0.522	0.204	0.885 <sup>2)</sup>
铁	0.869 <sup>2)</sup>	0.625 <sup>1)</sup>	0.558	1	0.586 <sup>1)</sup>	-0.459	0.099	-0.432	-0.749 <sup>2)</sup>	0.041	-0.695 <sup>1)</sup>	0.703 <sup>1)</sup>
钙	0.609 <sup>1)</sup>	-0.113	0.594 <sup>1)</sup>	0.586 <sup>1)</sup>	1	-0.186	0.487	-0.174	-0.405	0.153	-0.317	0.608 <sup>1)</sup>
镁	-0.451	-0.132	-0.093	-0.459	-0.186	1	-0.229	0.988 <sup>2)</sup>	0.134	0.088	0.526	-0.395
锌	0.243	-0.163	0.281	0.099	0.487	-0.229	1	-0.200	-0.098	0.374	0.198	0.410
锰	-0.391	-0.102	-0.047	-0.432	-0.174	0.988 <sup>2)</sup>	-0.200	1	0.072	0.119	0.516	-0.338
铜	-0.879 <sup>2)</sup>	-0.582 <sup>1)</sup>	-0.545	-0.749 <sup>2)</sup>	-0.405	0.134	-0.098	0.072	1	-0.109	0.651 <sup>1)</sup>	-0.502
挥发油	0.115	0.218	0.522	0.041	0.153	0.088	0.374	0.119	-0.109	1	0.445	0.583 <sup>1)</sup>
桉油精	0.704 <sup>1)</sup>	0.332	0.204	-0.695 <sup>1)</sup>	-0.317	0.526	0.198	0.516	0.651 <sup>1)</sup>	0.445	1	-0.207
龙脑	0.758 <sup>2)</sup>	0.509	0.885 <sup>2)</sup>	0.703 <sup>1)</sup>	0.608 <sup>1)</sup>	-0.395	0.410	-0.338	-0.502	0.583 <sup>1)</sup>	-0.207	1

注: <sup>1)</sup>P<0.05, <sup>2)</sup>P<0.01

### 3.5 蕲艾矿质养分积累与干物质积累的关系

以蕲青1号为例,在蕲艾整个生育期中,植株的干物质积累总量和矿质养分的积累总量呈正相关,和氮、磷、钾、钙、镁、铜、铁、锰、锌各元素的相关系数R<sup>2</sup>依次为0.984 2、0.952 6、0.969 4、0.848 0、0.926 1、0.897 1、0.935 6、0.924 5、0.960 1,均达显著水平,见图3。从蕲艾植株营养元素与干物质积累的拟合直线斜率还可以看出,大量元素中,钾营养积累直线斜率最大,其次为氮,表明在各大量元素中钾元素和氮元素的干物质生产效率最高,磷、钙、镁较低。微量元素中,铁营养积累直线斜率最大,其次为锰、锌居中,铜营养最低。表明在各微量元素中铁元素和锰元素的干物质产生效率最高,锌、铜元素的干物质生产效率最低。

### 4 结论与讨论

干物质积累量是影响作物产量的重要因素。在栽培技术中调控好源库关系,是提高药材产量和有效成分含量的关键<sup>[15]</sup>。蕲艾药用部位是叶片,在产量形成中,如何进行源、库关系的调整,是获得最大经济产量的关键。本研究表明,蕲艾在不同生育期内干物质积累速度存在差异。生长初期蕲艾植株个体较小,各器官干物质增长缓慢,营养生长期蕲艾各器官的干物质积累量均大幅增加,干物质积累量最高,蕲艾叶片长势最佳,以叶和茎干物质质量占总量的比例最大,进入生殖生长期后,蕾、花逐渐形成,蕲艾干物质积累速度放缓。因此营养生长期是蕲艾生产管理的关键时期。

植株中矿质元素的分配,会随着生长中心的转

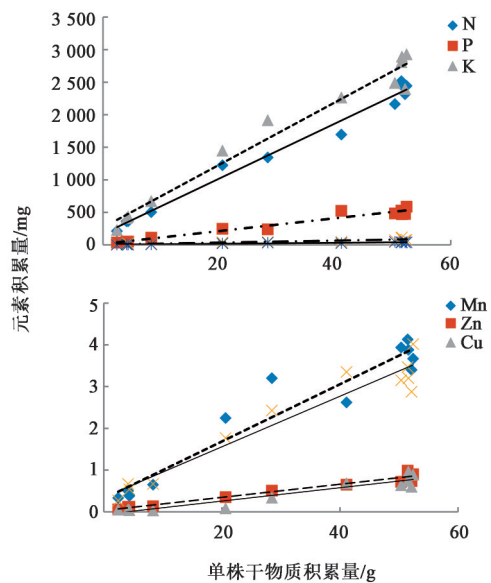


图3 蕲艾矿质元素积累总量与干物质积累总量的关系

Fig. 3 Relationship between total accumulation of mineral elements in *Artemisia argyi* var. *argyi* cv. *Qiai* and total accumulation of dry matter

移而变化。元素的移动性和分配规律是制定施肥措施的参考依据<sup>[16]</sup>。本研究结果显示,2种种源蕲艾在不同生育期各器官中矿质元素的含量变化较大,各时期对矿质元素的积累存在显著差异,将蕲艾干物质质量最大作为最佳采收期(6月14日),以蕲青1号为例,此时蕲艾植株从土壤中吸收各元素的积累量由高至低依次为钾>氮>磷>钙>镁(分别为2 723.41、2 573.96、707.00、114.38、41.97 mg/株),可见蕲艾对钾、氮肥的需求量最大,在生产管理上应根据土壤供肥状况合理满足蕲艾对钾、氮肥的需

求,并适当配施钙、镁、磷肥。以相同方式通过元素含量和干物质质量计算蕲艾在采收期(6月14日)对各微量元素的吸收积累量,由高到低依次为锰>铁>锌>铜(分别为4.09、2.64、0.88、0.64 mg/株),生产上应注意施用微肥以促进蕲艾植株生长。

蕲艾不同器官对矿质元素的吸收分配上也存在显著差异。各营养元素主要积累于叶,如果以干叶片为收获目标,最佳采收期(6月14日)在中等肥力条件下可生产蕲艾叶片约为363.72~407.82 kg/667 m<sup>2</sup>,则每667 m<sup>2</sup>植株至采收结束从土壤中吸收大量元素钾15.19~16.31 kg,氮12.94~14.65 kg,磷3.31~3.68 kg,钙0.59~0.79 kg,镁0.23~0.24 kg,微量元素锰22.62~28.26 g,铁6.64~7.72 g,锌5.00~5.02 g,铜3.51~3.54 g,即每生产100 kg蕲艾药材需要5种大量元素的量分别约钾4.11 kg,氮3.58 kg,磷0.91 kg,钙0.18 kg,镁0.06 kg,需要5种微量元素的量分别约锰6.64 g,铁2.56 g,锌1.30 g,铜0.92 g。

矿质元素积累是干物质积累的基础,也是药用植物获得高产优效的基础,干物质累积与养分吸收的变化趋势基本相同,可作为制定施肥措施的参考依据<sup>[17]</sup>。现有研究表明,各营养元素在施用范围内均会对中药材干物质累积产生积极影响。本研究也发现氮、磷、钾、钙和镁5种大量元素及铁、锰、铜、锌4种微量元素的累积量与干物质累积存在显著的正相关水平。通过建立的相关性方程发现氮的干物质生产效率最高,其次为钾,磷、钙、镁营养较低,微量元素铁、锰的干物质生产效率较高,铜、锌的干物质生产效率较低,在生产上可不做重点施肥对象。

蕲艾叶片中的挥发油成分与矿质元素都是植物生长发育过程中的重要品质性状,矿质元素往往作为植物体内酶、辅酶的成分或激活剂参与植物有效成分的合成<sup>[18]</sup>。蕲艾作为特殊的中药材商品,其生产应该关注到产量和质量。本文以蕲艾叶片中总挥发油含量及《中华人民共和国药典》规定的2种主要特征组分桉油精和龙脑作为蕲艾叶片的药材质量评价指标。结合蕲艾矿质元素含量进行相关性分析。蕲艾叶片的9种矿质元素相互之间、9种矿质元素与总挥发油含量及2种主要特征组分间都存在着较为复杂的协同或拮抗作用,大量元素氮、磷、钾和蕲艾挥发油含量、桉油精相对含量、龙脑相对含量均呈现出正相关,可见适宜的施肥方式有利于提升蕲艾挥发油及主要特征性成分的含量。结合

本课题组前期采用的大田试验分别进行了蕲艾氮肥、磷肥、钾肥不同施用量及有机肥-无机肥配施的研究,均发现不同施肥方式和施肥用量与蕲艾的生长、产量和药材质量密切相关,是决定蕲艾的高产优质的重要因素<sup>[8-11]</sup>。足以证明蕲艾中矿质元素的积累与蕲艾挥发油的品质形成关系密切,合理的施肥方式对蕲艾药材质量起着关键性的作用。

综上所述,鉴于蕲艾对营养元素的吸收分配规律的独立性,生产中应遵循蕲艾的需肥规律及生产目标来确定肥料用量和施肥措施,营养生长期蕲艾各器官对氮、磷、钾营养元素的积累量上升明显,此时期为蕲艾需肥最大时期,也是施肥的最大效率期,应施足有机肥和磷、钾肥。3月份蕲艾处生长初期,对养分吸收量小;进入营养生长期,蕲艾快速生长,对各元素的吸收迅速增加,蕲艾挥发油得率处于较高水平。营养生长后期(6月14日)既是其植株干物质积累量最大的时期,也是植株氮、磷、钾营养的最大效率期,该时期植株干物质阶段积累率约占全生育期的37%,对氮、磷、钾营养的阶段吸收量分别约占全生育期吸收总量的45%、50%和47%,此时蕲艾挥发油得率达到最大;在营养生长后期及向生殖生长期转化时期,植株对氮、磷和钾肥的需求量仍较高,故在施肥方式上,除应早施和初期重施外,还应分多次分施以满足植株不同生育阶段的需求,促进植株干物质累积和花芽分化。同时在营养生长中后期和生殖生长期,蕲艾植株对钙、镁营养的需求较高,在生产上要注意通过施用石灰调节土壤酸碱和根外施肥的方式适当补充植株钙、镁营养。微量元素在相关性分析中可以看出部分对大量元素的吸收具有一定促进作用。因此可在蕲艾进入营养生长期时搭配适宜的微肥,增加蕲艾中微量元素的含量,提高蕲艾产量和药材质量。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

#### [参考文献]

- [1] 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.
- [2] 张元,康利平,郭兰萍,等. 艾叶的本草考证和应用研究进展[J]. 上海针灸杂志,2017,36(3):245-255.
- [3] 李涵,陈希瑜,朱珠,等. 蕲艾的现代研究进展[J]. 中药材,2022,45(3):765-769.
- [4] 胡喜巧,杨文平,黄玲,等. 红花对氮磷钾的吸收与分配规律研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(7):32-37,44.
- [5] 刘灵娣,刘梦星,孙学,等. 菘蓝干物质积累及氮磷钾

- 吸收、分配动态变化规律研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(6): 39-45.
- [6] 杨美权, 刘大会, 邵爱娟, 等. 黄花蒿氮、磷、钾、钙、镁营养吸收分配规律研究[J]. 中草药, 2013, 44(19): 2745-2752.
- [7] 马琳, 陈昌婕, 苗玉焕, 等. 基于蕲艾产量和品质的氮肥适宜施用量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(9): 1665-1674.
- [8] 陈昌婕, 马琳, 苗玉焕, 等. 磷肥施用量对蕲艾生长和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1420-1431.
- [9] 陈昌婕, 马琳, 苗玉焕, 等. 施用钾肥对蕲春蕲艾产量、出绒率及品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(2): 201-209.
- [10] 马琳, 陈昌婕, 郭兰萍, 等. 有机肥和化肥配施对蕲艾生长、产量及品质的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(18): 128-135.
- [11] 高丽, 杨光洁. 不同生长期艾叶挥发性成分评价[J]. 中国药师, 2020, 23(8): 1531-1534.
- [12] 王燕武, 廖道龙, 刘子凡, 等. 樱桃番茄不同生长阶段各器官干物质积累动态及分配规律[J]. 热带农业科学, 2021, 41(9): 56-60.
- [13] 马建军, 任艳军, 杜彬, 等. 欧李果实中矿质元素、干物质和水分的分配及相关性[J]. 南方农业学报, 2011, 42(5): 483-487.
- [14] 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.
- [15] 秦海, 李俊祥, 高三平, 等. 中国660种陆生植物叶片8种元素含量特征[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1247-1257.
- [16] 张正仁, 宋长铤. 土壤环境和植物基因型与土壤中微量元素的关系[J]. 南京大学学报: 自然科学, 1992(3): 472-478.
- [17] 李洪娜, 许海港, 任饴华, 等. 不同施氮水平对矮化富士苹果幼树生长、氮素利用及内源激素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1304-1311.
- [18] 李春俭. 高级植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2015.

[责任编辑 顾雪竹]