

蓬莪术不同生长期干物质与营养元素积累规律

瞿雅懿¹, 王浩涵¹, 陈颖馨¹, 种叶敏¹, 廖雯訢¹, 陈洁¹, 蔡晓洋¹, 李敏^{1*},
高宇明², 刘英³

(1. 成都中医药大学药学院/现代中药产业学院, 省部共建西南特色中药资源国家重点实验室, 成都 611137; 2. 资阳市食品药品检验检测中心, 四川 资阳 641300;
3. 四川智佳成生物科技有限公司, 成都 610000)

[摘要] 目的:以川产道地药材郁金(块根)和莪术(根茎)的原植物蓬莪术为试验材料,研究蓬莪术植株不同生长期干物质积累量及其营养元素积累、吸收特点,探明其生长发育规律和营养需求特性,为其科学、合理施肥提供理论依据。**方法:**测定并分析道地产区不同生长期蓬莪术的植株生长指标、干物质积累量、营养元素含量。**结果:**蓬莪术在10月之前以地上部分叶、茎生长为主,10月开始生长中心逐渐转移到地下部分,且以根茎、块根生长为主。整个生长发育过程中,蓬莪术对营养元素氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜的单株积累量分别达2 450.31、907.09、3 171.18、625.94、493.38、14.53、2.24、2.93、0.46 mg,积累量大小均为钾>氮>磷>钙>镁>铁>锌>锰>铜。**结论:**植株生长需要吸收足量的钾、氮,适量的磷、钙、镁,少量的铁及极少量的锌、锰、铜,且对钾元素吸收最多。氮磷钾肥为大量元素肥料,宜在苗期、叶丛期及根茎膨大初期、块根膨大及根茎二次膨大期补充氮肥;在苗期、块根膨大及根茎二次膨大期、块根及根茎干物质积累期施用磷肥、钾肥;在苗期、叶丛期及根茎膨大初期、块根膨大及根茎二次膨大期使用多种中微量元素叶面肥。

[关键词] 蓬莪术; 干物质; 营养元素; 生长发育规律; 营养需求特性

[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)24-0197-11

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20221611

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20221008.1738.007.html>

[网络出版日期] 2022-10-09 17:06

Accumulation of Dry Matter and Nutrients in *Curcuma phaeocaulis* at Different Growth Stages

QU Yayi¹, WANG Haohan¹, CHEN Yingxin¹, ZHONG Yemin¹, LIAO Wenxin¹, CHEN Jie¹,
CAI Xiaoyang¹, LI Min^{1*}, GAO Yuming², LIU Ying³

(1. State Key Laboratory of Southwestern Chinese Medicine Resource, School of Pharmacy/School of Modern Chinese Medicine Industry, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 2. Ziyang Food and Drug Inspection and Testing Center, Ziyang 641300, China;
3. Sichuan Zhi Jiacheng Biotechnology Co. Ltd., Chengdu 610000, China)

[Abstract] **Objective:** To study the accumulation and absorption of dry matter and nutrients in *Curcuma phaeocaulis* from Sichuan, the origin of *Curcumae Radix* (tuber) and *Curcumae Rhizoma* (rhizome), to explore the growth and development laws and nutrient demand characteristics of the medicinal species, and thus to lay a theoretical basis for rational fertilization. **Method:** The plant growth indexes, dry matter accumulation, and nutrient content of *C. phaeocaulis* at different growth stages in Sichuan were measured and analyzed. **Result:** This medicinal species featured the dominant growth of aboveground leaves and stems before October

[收稿日期] 2022-07-07

[基金项目] 四川省科技计划项目(2020YFS0303);成都中医药大学“杏林学者”学科人才科研提升计划项目(CXTD2018016)

[第一作者] 瞿雅懿, 硕士, 从事中药品种、质量与资源研究, E-mail: 631562659@qq.com

[通信作者] * 李敏, 博士生导师, 从事中药资源、品种及质量评价研究和 GAP 研究, E-mail: 028limin@163.com

and growth of underground part (particularly the rhizomes and tubers) from October. During the whole growth period, the accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, and copper per plant was 2 450.31, 907.09, 3 171.18, 625.94, 493.38, 14.53, 2.24, 2.93, 0.46 mg, respectively, with the order of potassium > nitrogen > phosphorus > calcium > magnesium > iron > zinc > manganese > copper. **Conclusion:** The species needs sufficient potassium and nitrogen, appropriate amount of phosphorus, calcium, and magnesium, a small amount of iron, and very little zinc, manganese, and copper for growth, and potassium is particularly important. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers supply macroelements and nitrogen fertilizer should be supplemented at seedling stage, leafy stage, early rhizome expansion stage, tuber expansion stage, and the second expansion stage of rhizome. Phosphorus and potassium fertilizers should be applied at seedling stage, tuber expansion stage, secondary expansion stage of rhizome, and dry matter accumulation stage of tuber and rhizome. At seedling stage, leafy stage, early rhizome expansion stage, tuber expansion stage, and the second expansion stage of rhizome, a variety of medium and trace elements-containing foliar fertilizers should be used.

[Keywords] *Curcuma phaeocaulis*; dry matter; nutrients; growth and development law; nutrient demand characteristics

蓬莪术为姜科姜黄属植物,其根茎和块根均为川产道地药材^[1-4],收入2020年版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)莪术(根茎)和郁金(块根)项下^[1],郁金活血止痛,行气解郁,清心凉血^[1],而莪术则能行气破血,消积止痛^[1],为我国大宗常用药材,是众多成方制剂中的重要原材料。如清热调血汤、香棱丸、沉香化滞丸等474个中药方剂中含有莪术,金郁金牌欣泰胶囊、绿因牌玉容胶囊等是以郁金为原料的保健品。市场需求量大,药材价值高。然而为了获得更高的收益,当地农户往往盲目施肥,既降低了肥料的利用率,也不利于郁金可持续发展。

植物营养特性的研究是其高产优质栽培的基础之一,且摸清植物的营养需求规律是实现配方施肥的基础^[5-7],通常作物干物质累积和需肥规律的研究均采用在作物不同生育期进行植株采样测定的方法^[8]。目前,已有宁夏枸杞、延胡索、黄芪、黄芩等关于药用植物干物质积累和营养元素吸收及分配规律研究^[9-19],对指导中药材合理施肥起到了十分重要的作用。姜黄属药用植物较多,关于营养特性研究主要集中于干物质积累和大量元素的吸收研究。李青苗等^[20]根据黄丝郁金不同时期的株高、叶片数、鲜叶数等农艺性状指标和地上部分、根、根茎、块根等部位的干物质变化情况。将黄丝郁金整个生长时期划分成出苗期(夏至—7月上旬)、苗期(7月上旬—8月中旬)、叶丛期(8月中旬—10月初)、块根膨大期(10月初—11月初)、块根充实期(11月初—次年1月)。刘德军等^[21]通过定点采样,

分别测定叶、根茎、须根和块根中氮、磷、钾的百分含量,对温郁金中氮、磷、钾的吸收和分配规律进行了研究。结果表明,温郁金在整个生长过程中对氮肥和钾肥的需求量较大,且钾肥需求量约为氮肥的两倍,对磷肥的需求量则较少。然而对蓬莪术干物质累积及养分吸收利用规律研究未见报道,导致后续施肥研究缺乏背景及理论支撑。本试验以蓬莪术为试验材料,在大田栽培的条件下,探究其不同生长阶段的营养元素需求特点,旨在明确其各生长发育阶段对氮、磷、钾及中微量元素的吸收分配规律,以期为其科学、合理施肥提供理论依据,从源头上保障和提高药材产量与质量,促进其产业化发展。

1 材料

1.1 材料 播种材料为蓬莪术种姜,经成都中医药大学李敏教授鉴定为姜科蓬莪术 *Curcuma phaeocaulis* 的新鲜根茎。在双流区舟渡村种植基地进行播种,小区面积40 m²(10 m×4 m),小区间作业道1 m,株行距45 cm×45 cm,试验小区设置3次重复。

复合肥(氮-P₂O₅-K₂O 15:15:15,总养分≥45%,龙麟大地农业有限公司生产)。

1.2 仪器与试剂 SQP型1/1万天平[赛多利科学仪器(北京)有限公司],JY2002型百分之一电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司),DUG-9070B智能型电热恒温鼓风干燥箱(上海琅环实验设备有限公司),Vapodest45S型全自动凯氏定氮仪(德国格哈特分析仪器有限公司),KDN-08型消化炉(上海新嘉电子有限公司),HX-500A型高速中药粉碎机

(浙江省永康市溪岸五金药具厂),FP6431型火焰光度计(上海精密科学仪器有限公司),Z-2300型原子吸收分光光度计(日本日立制作所),游标卡尺(桂林广陆数字测控有限公司)。

对照品锰、铁、锌、铜、镁、钙(国家有色金属及电子材料分析测试中心,质量浓度均为 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,批号分别为 GSB 04-1736-2004、GSB 04-1726-2004、GSB 04-1761-2004、GSB 04-1725-2004、GSB 04-1735-2004、GSB 04-1720-2004);硫酸、硼酸、氢氧化钠、乙醇(95%)、过氧化氢($\varphi\geq 30\%$)、抗坏血酸、钼酸铵、甲基红、溴甲酚绿、酒石酸锑钾、二硝基酚、磷酸二氢钾、氯化钾均为分析纯。

2 方法

2.1 试验地概况 试验地位于四川省成都市双流区郁金种植基地,该区属于亚热带湿润季风气候,海拔495 m,年平均气温约 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均日照时数 $>1\ 000\text{ h}$ 。年平均降雨量 945.6 mm ,雨量主要集中在7—8月。全年无霜期约275 d,初霜期一般出现在11月底,终霜期一般在2月下旬。

蓬莪术供试土壤类型为沙质壤土,pH 7.12,碱解氮 $73.16\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 $53.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $87.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $24.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.2 试验设计 蓬莪术于2019年5月19日播种,齐苗(7月中旬)后追肥,施肥量为复合肥 $170\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,栽培管理措施同大田。植株齐苗后根据生长发育的不同时期,分别于7月26日、8月23日、9月20日、10月4日、10月18日、11月15日、12月13日、12月27日进行采样,全生育期共采样8次。采用随机取样法,每次采集10株植株样品,同时取对应的根部土壤样品 0.5 kg 。

2.3 测定项目与方法 试验期间按生长发育的不同时期,共采样8次,每次每小区取代表性植株10株;分别测定植株的株高、叶长、叶宽、茎粗、叶片数等生长指标。按器官(叶、茎、根茎、须根和块根)分开,称量鲜重,于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中杀青30 min, $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重,称重。计算不同生长期植株各器官的干物质积累量、日增量及分配率。

将各处理干植株样品粉碎并过 0.5 mm 筛,用于测定植株氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜含量。分别用凯氏定氮法测全氮含量,钼锑抗比色法测全磷含量,火焰光度法测全钾,电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测钙、镁、铁、锰、锌、铜含量。

将各处理对应土壤样品自然风干后,粉碎并过 0.5 mm 筛,采用还原碱解扩散法测土壤碱解氮,

NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测土壤有效磷, NH_4OAC 浸提-火焰光度法测土壤速效钾,ICP-MS法测土壤钙、镁、铁、锰、锌、铜含量^[22-23]。

2.4 数据处理方法 试验数据采用SPSS 21.0软件进行整理与统计分析。

3 结果与分析

3.1 蓬莪术植株干物质积累动态 蓬莪术植株各器官的干物质积累动态、分配率见图1、图2。蓬莪术全株干物质积累量在整个生育期内基本呈“S”型曲线变化,表现为7月下旬到12月中旬呈不断上升趋势,至12月中旬时出现最大积累量,此后开始略微下降。7月下旬到10月上旬,叶干物质积累量一直上升,干物质分配率以叶、茎为主,两者的总干物质分配率在69.43%到83.78%;10月中旬时茎干物质积累量最大,地上部分和地下部分的干物质分配率约各占50%;到11月中旬,干物质分配主要以地下部分为主,分配率占到全株的61.82%;12月中旬后块根干物质积累量趋于最大,12月下旬时,根茎、块根、须根的干物质分配率分别为42.34%、25.30%和4.68%,地下部分的总干物质分配率超过70%。

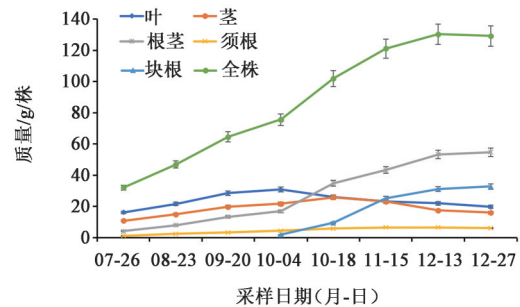


图1 蓬莪术植株干物质积累量($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 1 Dry matter accumulation of *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

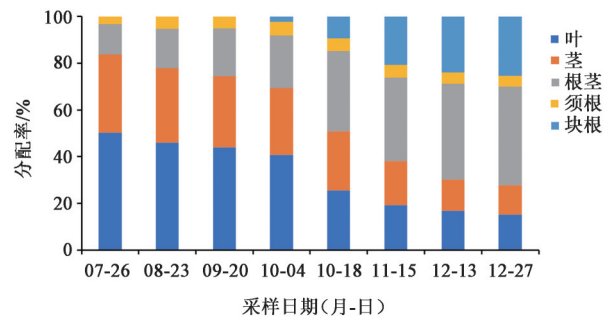


图2 蓬莪术植株干物质分配率($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 2 Dry matter distribution rate of *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

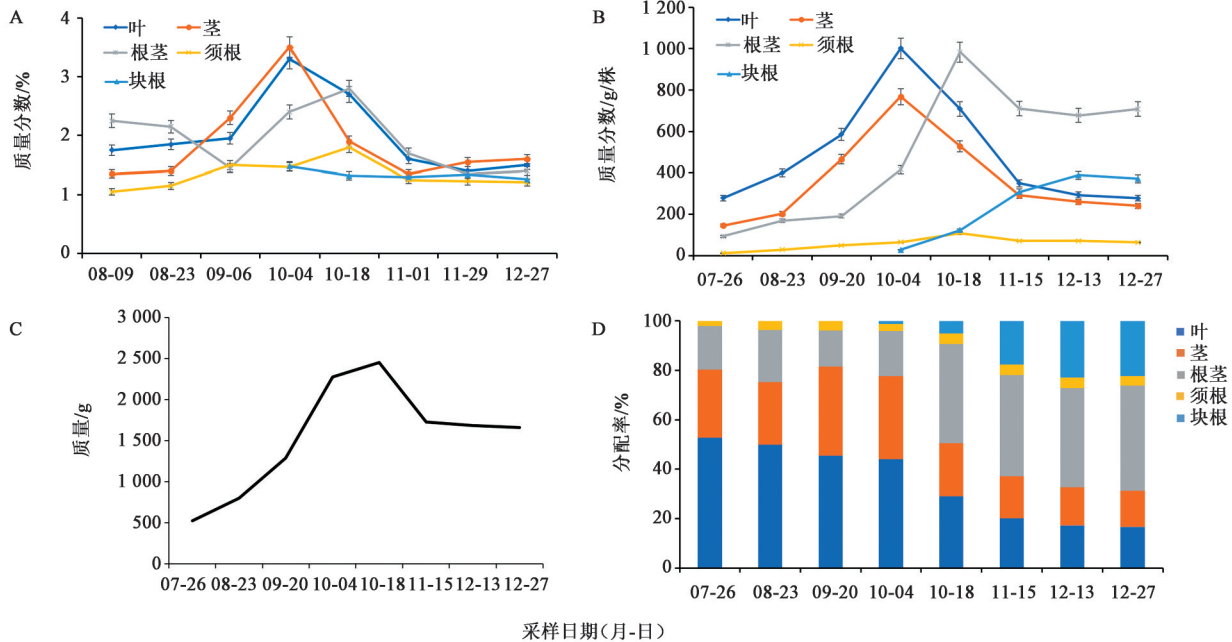
3.2 蓬莪术植株营养元素吸收、积累与分配特性

3.2.1 氮的吸收、积累与分配

蓬莪术植株不同生

长时期各器官的氮含量等指标见图3。从氮含量来看,7月下旬至10月上旬,叶中氮含量迅速增加并达到最大值,此后随生育进程逐渐降低并于11月中旬后基本趋于稳定。茎中氮含量在10月上旬达到峰

值3.561%,此后迅速下降,11月中旬后略有回升。根茎、须根中氮含量于10月中旬达到最大后迅速下降并趋于稳定。块根在形成初期氮含量较高,而后随生育进程缓慢下降,整体变化幅度较小。



注:A.氮含量;B.氮积累量;C.全株氮积累量;D.氮分配率

图3 蓬莪术植株不同部位的氮含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 3 Content, accumulation dynamics and distribution rate of nitrogen in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

由单株氮积累量可知,地上部分叶、茎的氮积累量于10月上旬达到最大积累量,分别为1 000.952、768.179 mg。地下部分根茎的氮积累量于10月中旬达到最大积累量,而此时全株氮积累量也达到峰值,随后开始降低。块根的氮积累量从10月上旬块根形成开始一直上升,于12月中旬达到积累峰值后略有下降。蓬莪术植株生长后期,各器官的氮积累量大小为根茎>块根>叶>茎>须根。

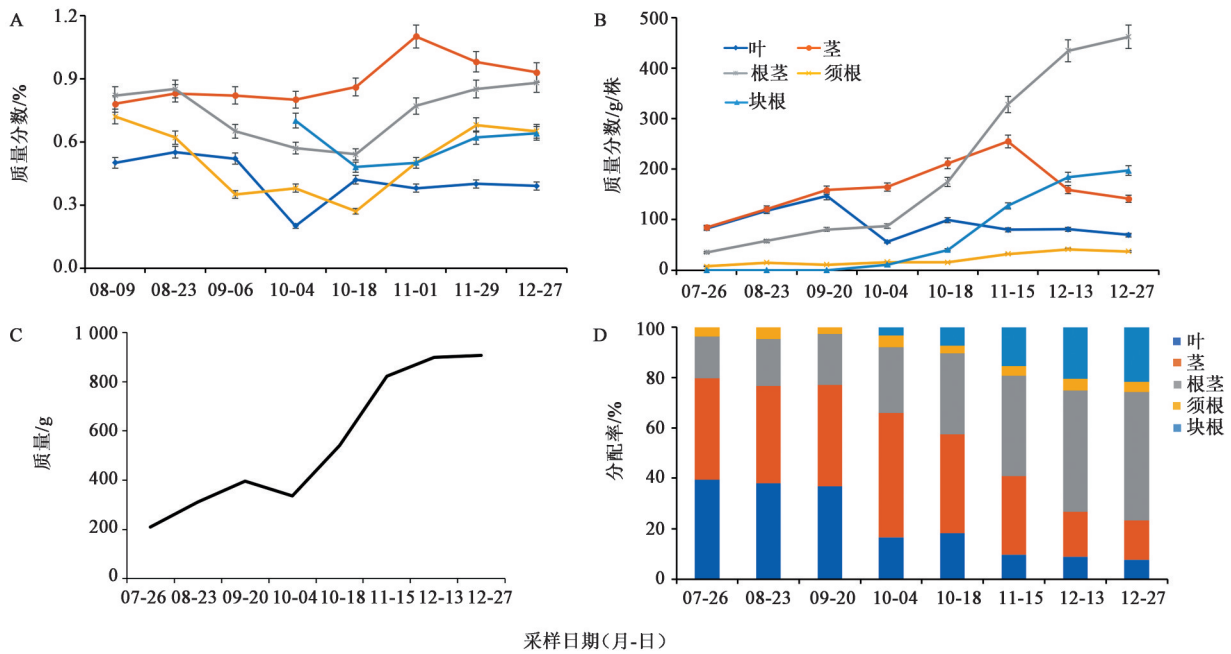
根据氮分配率大小可知,7月下旬至10月上旬,氮主要分配到地上部分,其总的分配率在75.25%~80.29%,且叶中氮分配率大于茎。10月中旬时地上部分与地下部分的氮分配率各为50%左右,此时各器官以根茎中氮分配率最大,占总量的40.11%。11月中旬开始,氮的分配中心转移到地下部分。整个生长过程中,地上部分氮的分配以叶为主,地下部分氮主要分配到根茎中。

3.2.2 磷的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的磷含量、磷累积吸收量及磷分配率见图4。从磷含量来看,7月下旬至10月上旬,叶中磷含量先保持稳定一段时间后迅速降至0.182%,随后又回升并趋于稳定。茎中磷含量在7月下旬到10月中

旬维持在较高水平,于11月下旬增至最大,此后逐渐下降。7月下旬至10月中旬,根茎中磷含量逐渐降至最低,此后随生育进程而增加。此时须根中磷呈波动下降至最低,随后呈直线上升,于12月中旬后趋于稳定。10月上旬块根开始形成,磷含量随生育进程先降低后增加,于12月中旬后基本保持不变。

由单株磷积累量可知,地上部分叶的磷于9月中旬达最大积累量146.488 mg,此后磷积累量随生育进程呈波动下降趋势。茎的磷于11月中旬达到积累峰值,随后开始降低。地下部分根茎、块根的磷积累量随生育进程而逐渐增加,其中10月上旬到12月中旬累积速度快,此时全株磷积累量逐渐增加,于12月中旬后累积速度变缓。须根的磷积累量在整个生长过程中缓慢增加,其变化幅度较小。各器官的磷积累量在生长后期表现为,根茎>块根>茎>叶>须根。

根据磷分配率大小可知,8月下旬至10月中旬,地上部分总的磷分配率为57.45%~79.73%。11月中旬开始,地下部分磷分配率超过地上部分,磷的分配中心转移到地下部分。至12月下旬时,地下部分分配率达76.72%,且各器官中以根茎的分配率最



注:A.磷含量;B.磷积累量;C.全株磷积累量;D.磷分配率
图4 蓬莪术植株的磷含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 4 Content, accumulation dynamics and distribution rate of phosphorus in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

大,占总量的50.89%。全生育期内,地上部分的磷主要分配到茎中,而地下部分主要分配到根茎中。

3.2.3 钾的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的钾含量、钾累积吸收量及钾分配率见图5。从钾含量来看,叶中钾含量在整个生长过程中呈波动下降,于12月中旬后保持稳定。茎中钾含量在生长初期最高,达8.865%,随后迅速降低,至10月上旬降至最低后又略有回升并趋于平稳。7月下旬至10月上旬,根茎中钾含量逐渐降低,10月上旬到11月中旬基本保持不变,而后略有增加。须根中钾含量从7月下旬到10月上旬先降低后增加达到峰值,此后迅速下降并逐渐趋于稳定。块根中钾含量随生育进程在小范围内波动,呈先降后升再降的趋势。

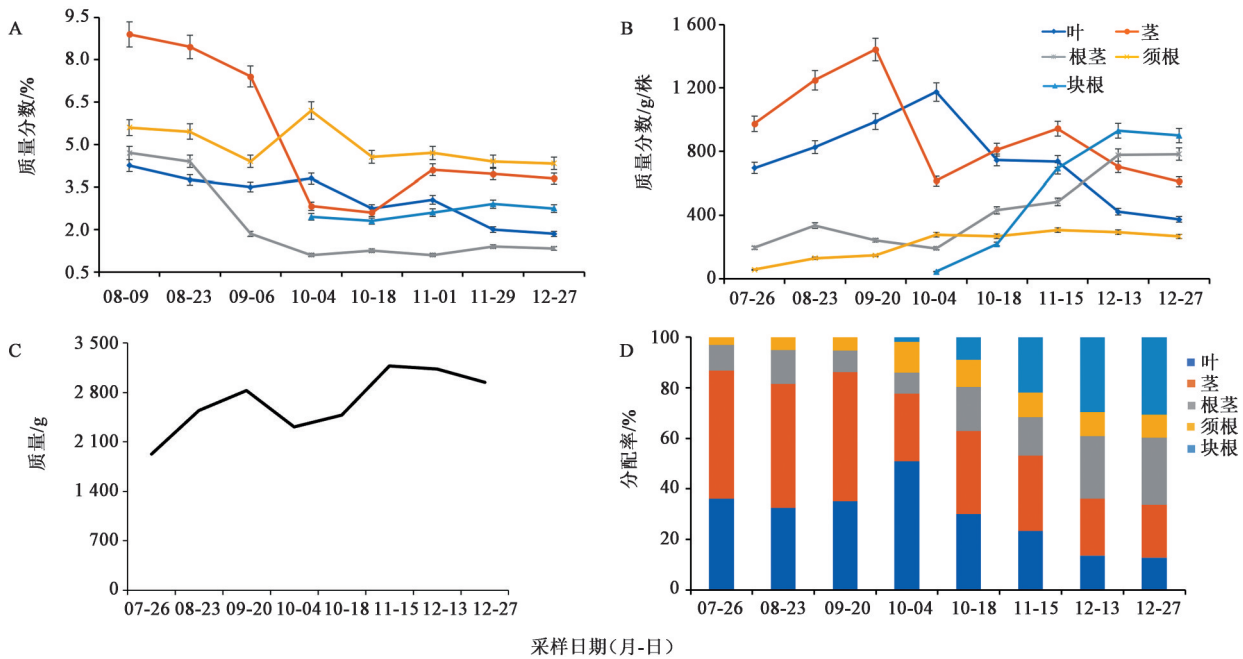
3.2.4 钙的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的钙含量、钙累积吸收量及钙分配率见图6。从钙含量来看,叶中钙含量从7月下旬到10月上旬迅速增加,10月上旬之后基本保持稳定。茎中钙含量从7月下旬到11月中旬逐渐上升并达到最大值8.834 g·kg⁻¹,此后开始下降。地下部分根茎、块根中钙含量在整个生长过程中均较低,且随生育进程而下降。须根中钙含量从7月下旬到10月上旬先升高后降低,10月上旬之后又逐渐上升。生长后期,钙含量以叶中最高,其次为须根和茎,根茎、块根中钙含量极低。

由单株钙积累量可知,地上部分的钙积累量在整个生长过程中均远大于地下部分,且叶中钙积累量高于茎。地上部分叶、茎中钙积累量随生育进程均先升高后降低,分别于10月上旬、11月中旬达到各自的积累峰值。地下部分根茎、须根、块根在生长过程中钙积累量较低,且变化幅度较小。全株钙积累量随生育进程先升高后降低,于10月上旬到达最高值。

根据钙分配率来看,整个生长过程中,钙主要分配到地上部分,叶和茎中钙分配率总和达86.87%~96.01%,并且地上部分的钙分配率均以叶高于茎。

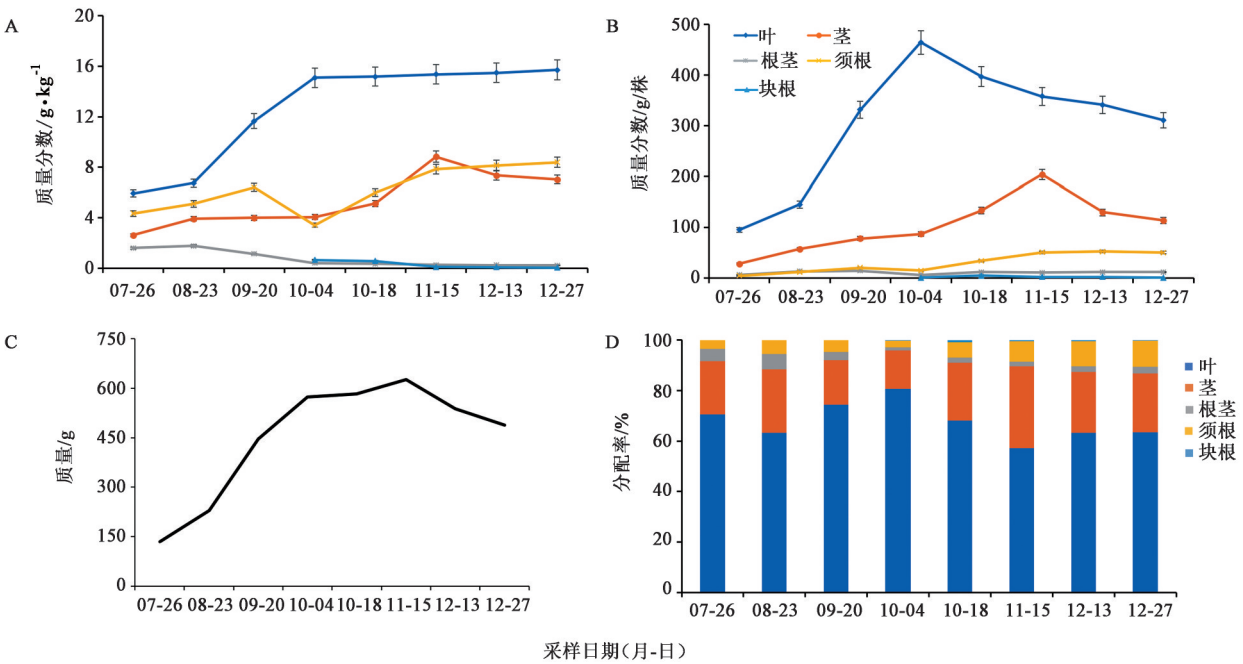
3.2.5 镁的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的镁含量、镁累积吸收量及镁分配率见图7。从镁含量来看,地上部分叶、茎中镁含量在生长过程中先上升后下降,均于10月上旬达到峰值,分别为9.497、7.143 g·kg⁻¹。地下部分根茎、块根中镁含量均较低,并随生育进程而下降。须根中镁含量从7月下旬到9月中旬逐渐上升并达到一个高峰,9月中旬到11月中旬先降低后升高,于11月中旬达到另一个峰值后又开始下降。生长后期,根茎中镁含量最高,须根和叶次之,根茎、块根中镁含量最低。

由单株镁积累量可知,地上部分叶、茎中镁积累量及全株镁积累量均随生育进程逐渐上升,于10



注:A.钾含量;B.钾积累量;C.全株钾积累量;D.钾分配率
图5 蓬莪术植株的钾含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 5 Content, accumulation dynamics and distribution rate of potassium in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)



注:A.钙含量;B.钙积累量;C.全株钙积累量;D.钙分配率
图6 蓬莪术植株的钙含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

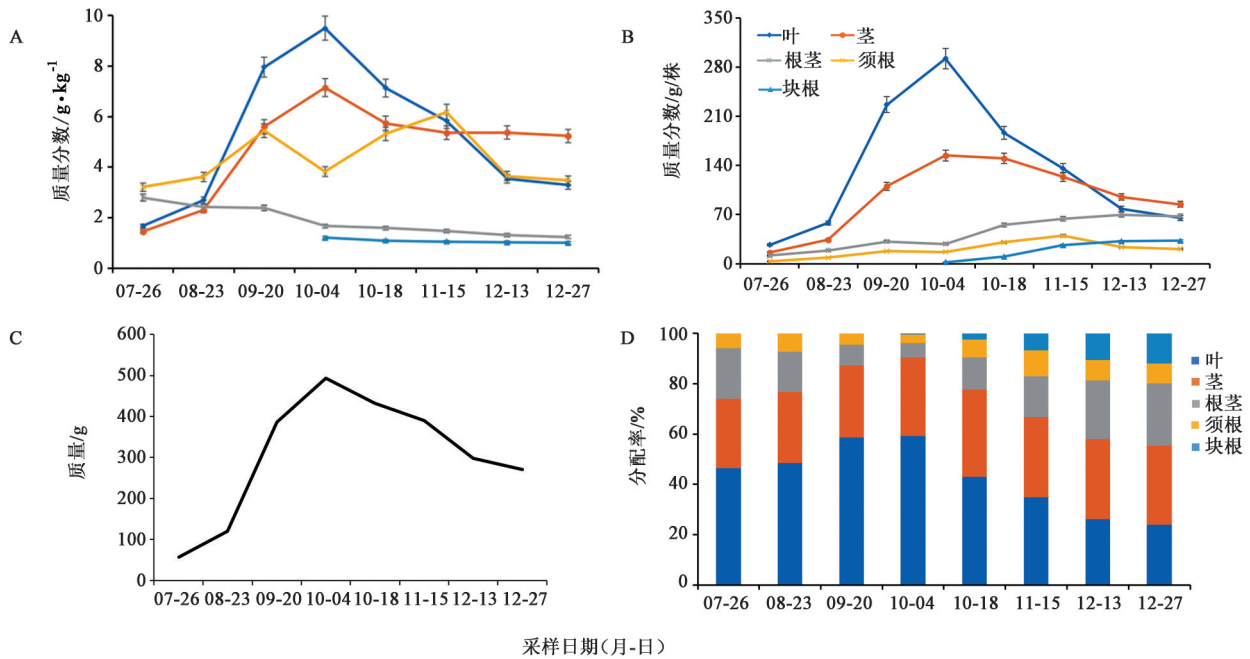
Fig. 6 Content, accumulation dynamics and distribution rate of calcium in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

月上旬达到积累峰值后开始下降。地下部分根茎、须根、块根中镁积累量随生育进程缓慢增加,于12月中旬后趋于稳定。

地上部分在不同生长时期的镁分配率均大于地下部分。11月中旬之前,地上部分的镁分配率以叶更高,此后叶中镁分配率略低于茎,而地下部分

的镁分配率在生长过程中均以根茎最高。

3.2.6 铁的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的铁含量、铁累积吸收量及铁分配率见图8。从铁含量来看,地上部分叶、茎中铁含量随生育进程逐渐上升并趋于稳定,生长后期叶中铁含量高于茎。地下部分根茎、块根中铁含量以生长初

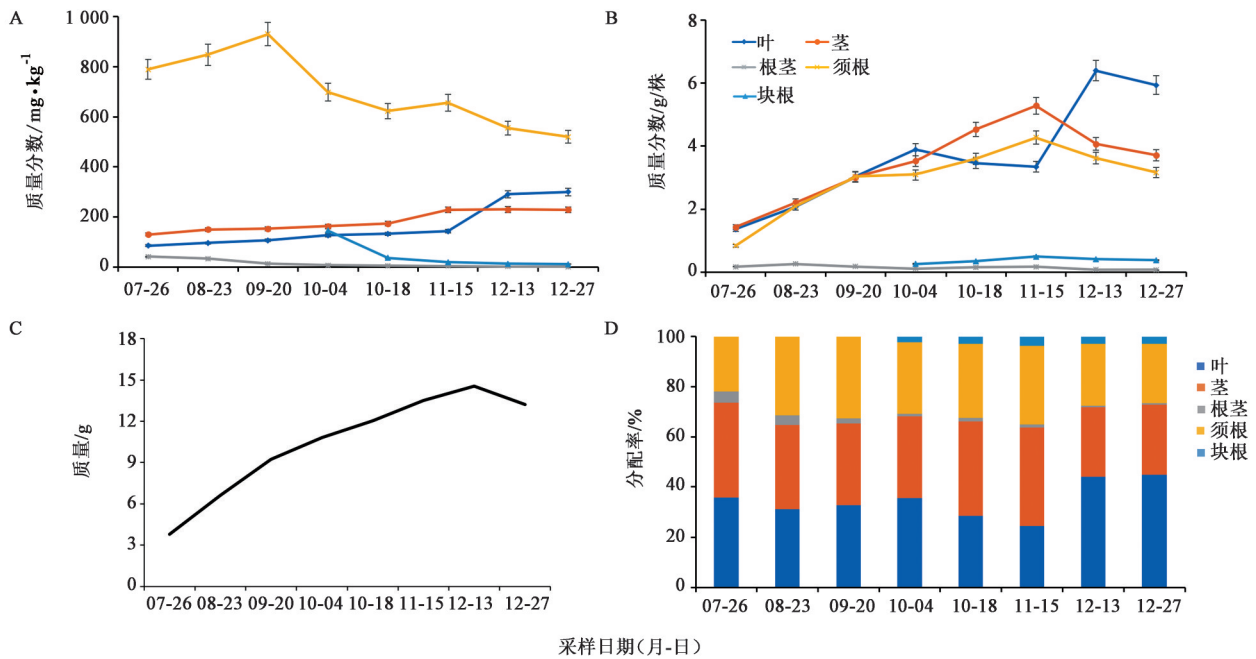


注:A. 镁含量;B. 镁积累量;C. 全株镁积累量;D. 镁分配率
图7 蓬莪术植株的镁含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 7 Content, accumulation dynamics and distribution rate of magnesium in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

期较高,此后随生育进程而降低。须根中铁含量从7月下旬到9月中旬持续上升并达到峰值,此后随生

育进程逐渐下降,但整个生长过程中各器官铁含量均以须根最高。



注:A. 铁含量;B. 铁积累量;C. 全株铁积累量;D. 铁分配率
图8 蓬莪术植株的铁含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 8 Content, accumulation dynamics and distribution rate of iron in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

由单株铁积累量可知,叶中铁含量随生育进程呈波动上升的趋势,茎与须根的铁积累量变化趋势较一致,7月下旬到11月中旬迅速上升并达到最大积累量,此后逐渐下降。根茎、块根在整个生长过

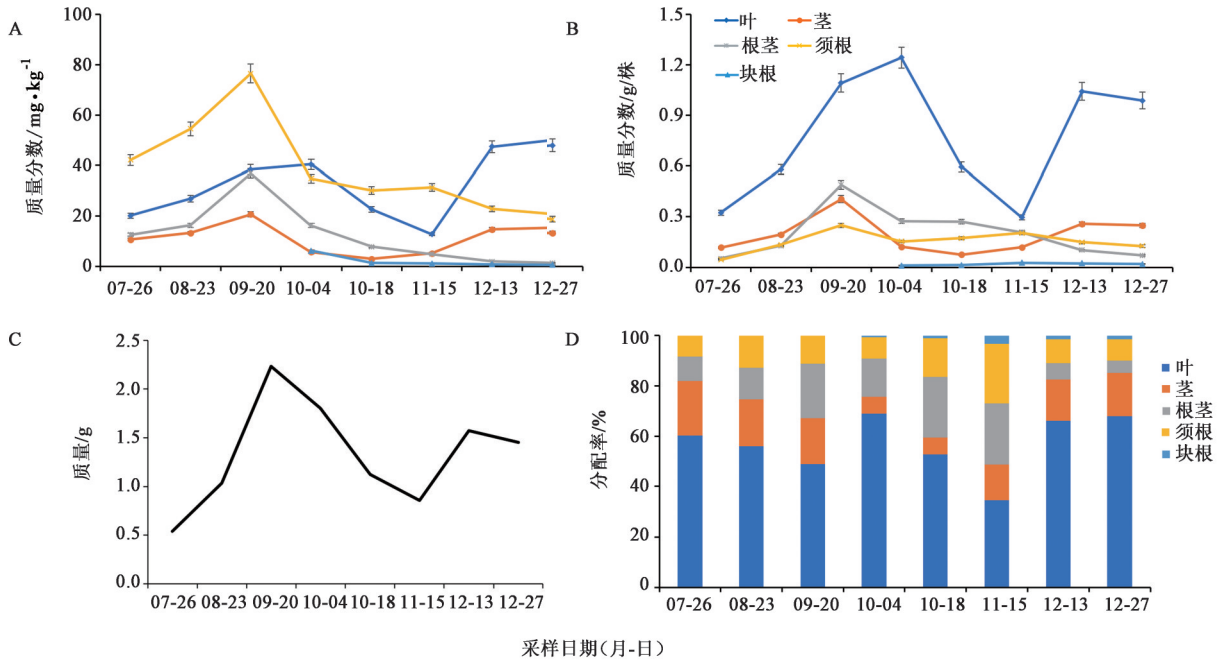
程中铁积累量极低,且变化幅度较小。全株铁积累量随生育进程呈上升的趋势,于12月中旬达到峰值。

根据铁分配率来看,整个生长期间,地上部分

叶、茎的铁分配率总和在63.72%~73.52%，均高于地下部分。地下部分的铁分配率在不同生长时期均以须根最高，其分配率在22.03%~32.76%。

3.2.7 锰的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的锰含量、锰累积吸收量及锰分配率见图9。从锰含量来看，地上部分叶中锰含量从7月下旬到10月上旬逐渐增加，随后开始下降，于11月

中旬降至最低，此后迅速上升。茎中锰含量也呈先升高后降低再上升的变化趋势，但茎的含量变化幅度较叶小。地下部分根茎、须根中锰含量逐渐增加并于9月中旬达到峰值，此后随生育进程而降低。块根中锰含量在块根形成初期更高，此后逐渐下降并趋于零。生长后期，锰含量以叶中最高，其次为须根和茎，根茎、块根中锰含量极低。



注:A. 锰含量;B. 锰积累量;C. 全株锰积累量;D. 锰分配率
图9 蓬莪术植株的锰含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig. 9 Content, accumulation dynamics and distribution rate of manganese in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x} \pm s, n=3$)

由单株锰积累量可知，叶中锰积累量从7月下旬到10月上旬持续升高并达到积累峰值1.242 mg，随后迅速降低，11月中旬降至最低后又继续上升，至12月中旬后略有下降。茎中锰积累量从7月下旬到10月中旬先升高后降低并于9月中旬达到最大积累量，10月中旬之后随生育进程逐渐上升并趋于稳定。地下部分根茎、须根中锰积累量从7月下旬至9月中旬逐渐增加并达到最大值，此后随生育进程缓慢降低。锰积累量在整个生长过程中均以叶最高，而块根中锰积累量极低。全株锰积累量于9月下旬达到最大积累量后呈现波动趋势。

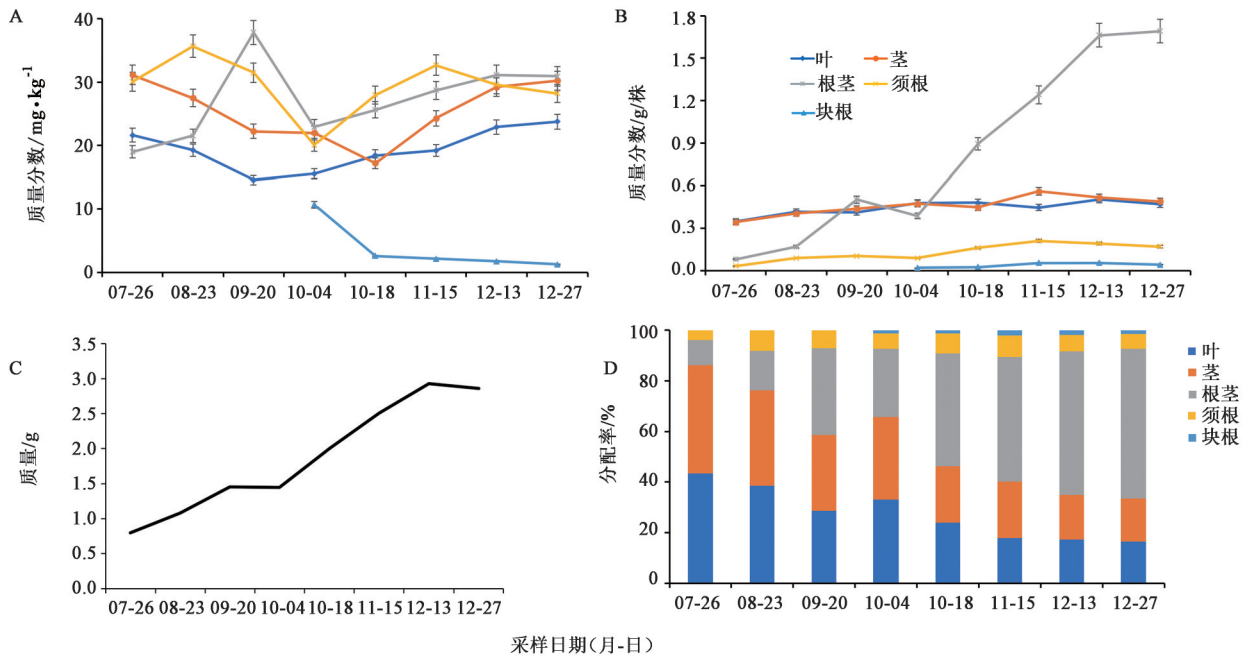
根据锰分配率来看，除11月中旬时地上部分锰分配率略低于地下部分外，整个生长期均以地上部分的锰分配率更高。不同生长时期，各器官中锰分配率均以叶最高，其分配率在34.67%~68.94%。

3.2.8 锌的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的锌含量、锌累积吸收量及锌分配率见图10。从锌含量来看，地上部分叶、茎中锌含量

在生长过程中先降低后升高，生长后期茎中锌含量高于叶。地下部分根茎中锌含量从7月下旬到9月中旬持续升高并达到峰值，随后迅速降低，10月上旬之后逐渐回升并趋于稳定。7月下旬到10月上旬，须根中锌含量先升高后降低，于10月上旬降至最低后又逐渐上升，至11月中旬后随生育进程而下降。块根中锌含量随生育进程逐渐下降，且整个生长过程中各器官锌含量均以块根最低。

由单株锌积累量可知，整个生长过程中，地上部分叶、茎中锌积累量均在0.342~0.561 mg小幅度变化。地下部分除根茎中锌积累量随生育进程持续上升外，须根和块根中锌积累量较低且在小范围内波动。全株锌积累量随生育进程呈现上升趋势，于12月中旬达到最大积累量。

根据锌分配率来看，7月下旬至10月上旬，锌主要分配到地上部分，叶和茎中锌分配率总和在58.69%~86.21%。10月中旬开始，锌的分配中心转向地下部分，且三者间以根茎最高，其分配率为



注:A. 锌含量;B. 锌积累量;C. 全株锌积累量;D. 锌分配率
图10 蓬莪术植株的锌含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 10 Content, accumulation dynamics and distribution rate of zinc in *Curcuma phaeocalis* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

44.49%~59.12%，远高于须根和块根。

3.2.9 铜的吸收、积累与分配 蓬莪术植株不同生长时期各器官的铜含量、铜累积吸收量及铜分配率见图11。从铜含量来看，地上部分叶、茎中铜含量变化幅度较小，叶中铜含量呈先降低后升高再下降的趋势变化，茎中铜含量先缓慢下降后逐渐上升。地下部分根茎、须根中铜含量均呈双峰曲线变化，7月下旬到10月上旬先升高后降至最低，此后随生育进程又呈先上升后下降的趋势变化。块根中铜含量在10月上旬到10月中旬略有增加，此后逐渐降低。

由单株铜积累量可知，除根茎外，各器官中铜积累量在0.004~0.079 mg，在整个生长过程中铜积累量均较低。7月下旬到10月上旬，根茎中铜积累量变化幅度较小，随后呈直线上升，于10月中旬达到积累峰值后降低。全株铜积累量从10月上旬开始明显增加，于10月中旬到达峰值后，处于较稳定状态。

根据铜分配率来看，铜分配率在7月下旬到10月上旬期间以地上部分更高，其总的铜分配率在55.34%~86.93%，且叶中铜分配率高于茎。10月中旬开始，铜的分配中心转移到地下部分，此时三者间的铜分配率大小为根茎>须根>块根。

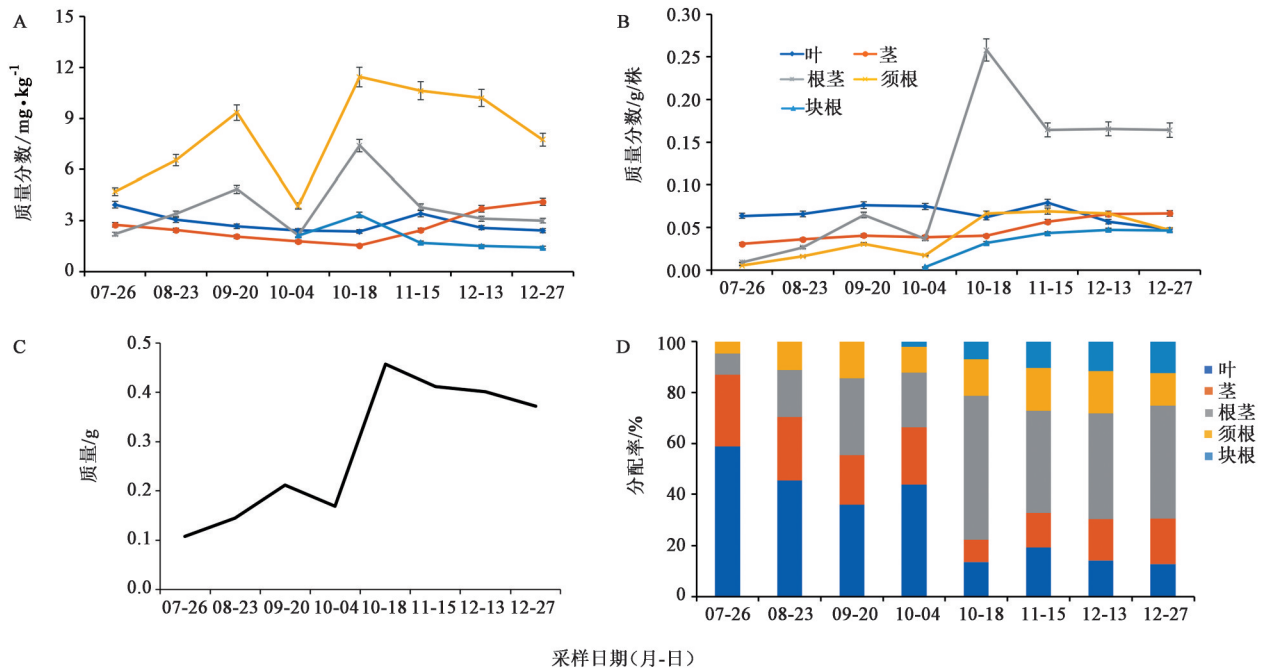
4 讨论与结论

明确植株营养吸收规律是合理施肥的前提，通

过研究植株对营养元素的吸收规律，确定各生长时期，同时在不同生长时期按照养分需求施加肥料，得到最适宜其生长的肥料配比，是提高其产量和品质的关键。

综合蓬莪术植株的生长及干物质积累规律，将蓬莪术的生长发育划分为苗期(7月中旬至8月中旬)、叶丛期及根茎膨大初期(8月中旬至10月上旬)、块根膨大及根茎二次膨大期(10月上旬至10月中旬)、块根及根茎干物质积累期(10月中旬至12月中旬)、块根及根茎成熟期(12月中旬之后)5个时期。蓬莪术不同生育期的生长发育和营养元素需求规律各不相同。整个生长发育过程中，蓬莪术对营养元素氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜的全株积累量分别达2 450.31、907.09、3 171.18、625.94、493.38、14.53、2.24、2.93、0.46 mg，积累量大小均为钾>氮>磷>钙>镁>铁>锌>锰>铜，综合蓬莪术全株和各器官生长发育规律及营养需求特性可知，植株生长需要吸收足量的钾、氮，适量的磷、钙、镁，少量的铁以及极少量的锌、锰、铜，且对钾元素吸收最多。这与川白芷^[24]、麦冬^[25]、菘蓝^[26]、黄芪^[9]等植物养分吸收规律相似。

在其生长过程中施加适量的氮、磷、钾、钙、镁、铁肥非常有必要。蓬莪术氮肥追肥时期为苗期、叶丛期及根茎膨大初期、块根膨大及根茎二次膨大期，三次追施氮肥的施用量分别为追肥总量的



注:A.铜含量;B.铜积累量;C.全株铜积累量;D.铜分配率
图11 蓬莪术植株的铜含量、积累动态、分配率变化 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Fig. 11 Content, accumulation dynamics and distribution rate of copper in *Curcuma phaeocaulis* ($\bar{x}\pm s, n=3$)

15%、75%、10%;磷肥追肥时期为苗期、块根膨大及根茎二次膨大期、块根及根茎干物质积累期,三次追施磷肥的施用量分别为追肥总量的15%、30%、55%;钾肥追肥时期为苗期、块根膨大及根茎二次膨大期、块根及根茎干物质积累期,三次追施钾肥的施用量分别为追肥总量的45%、10%、45%;钙肥、镁肥叶面喷施时间为苗期、叶丛期及根茎膨大初期,即7月下旬、8月中旬连续施用2次,每次间隔15 d左右。铁肥叶面喷施时间为苗期、叶丛期及根茎膨大初期、块根膨大及根茎二次膨大期,7月下旬、8月中旬、10月上旬施用3次。钙镁铁肥为中微量元素肥料,宜采用叶面喷施的方式,尽量选择在阴天喷施或者晴天的傍晚喷施,尽可能延长微肥溶液在茎叶上的润湿时间,利于吸收。

[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] 苏敬. 新修本草[M]. 上海:上海卫生出版社,1957.
 [3] 苏颂. 本草图经[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1994.
 [4] 黄宫绣. 本草求真[M]. 北京:人民卫生出版社,1987.
 [5] 陈铁柱. 平贝母吸肥规律及其专用肥配方研究[D]. 长春:吉林农业大学,2006.

[6] 李姣红. 白芨营养特性与施肥效应研究[D]. 贵阳:贵州大学,2007.
 [7] 左晓燕. 怀牛膝氮磷钾营养特性及施肥对其产量和品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2008.
 [8] 王梦苒,王朝辉,郑险峰,等. 延胡索干物质累积及氮、磷、钾养分吸收规律[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(7):45-50.
 [9] 王渭玲,梁宗锁,谭勇. 膜荚黄芪干物质累积及氮、磷、钾吸收规律的研究[J]. 中国中药杂志,2007,32(9):789-793.
 [10] 王海波,史祥宾,王孝娣,等. 设施葡萄植株不同生育阶段矿质营养需求特性研究[J]. 园艺学报,2020,47(11):2121-2131.
 [11] 张莹,李文倩,胡瑜辉,等. 黄芪营养吸收规律及其与产品品质形成的关系[J]. 山西农业科学,2020,48(4):540-546.
 [12] 褚屿,骆洪义,林举梅,等. 番茄对氮磷钾及中微量元素的吸收规律研究[J]. 中国土壤与肥料,2021(1):247-255.
 [13] 史祥宾,刘凤之,王孝娣,等. 巨玫瑰葡萄不同生育阶段养分需求特性研究[J]. 果树学报,2021,38(10):1708-1716.
 [14] 骆萌,伍国红,许文平,等. 新疆吐鲁番地区‘无核白’葡萄水分和矿质元素周年吸收规律研究[J]. 园艺学报,2017,44(10):1849-1860.
 [15] 周红伟,叶旭,安华明. 贵长猕猴桃果实生长发育及矿质养分积累规律[J]. 山地农业生物学报,2021,40

- (2):67-70
- [16] 杜少平,马忠明,薛亮. 砂田西瓜矿质养分吸收规律[J]. 中国瓜菜,2020,33(12):44-47.
- [17] 曹鲜艳,王渭玲,徐福利,等. 黄芩干物质累积和氮磷钾吸收、分配规律研究[J]. 植物科学学报,2012,30(1):79-84.
- [18] 祝丽香,王建华,耿慧云,等. 桔梗的干物质累积及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):197-202.
- [19] 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.
- [20] 李青苗,张春梅,张美,等. 黄丝郁金生长发育及干物质积累规律研究[J]. 中国中药杂志,2008,33(6):621-623.
- [21] 刘德军,李敏,李校堃,等. 温郁金氮磷钾吸收和分配规律研究[J]. 现代中药研究与实践,2008,22(3):13-16.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [23] 张军锋,郭佳,谭伟航,等. ICP—MS法测定不同产地莪术中微量元素的含量研究[J]. 微量元素与健康研究,2017,34(2):35-36,39.
- [24] 陈郡雯,吴卫,侯凯,等. 川白芷生长发育、养分及有效成分的动态研究[J]. 中国中药杂志,2010,35(21):2812-2817.
- [25] 陈兴福,杨文钰,刘红昌. 麦冬氮、磷、钾吸收与积累特性研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(16):1233-1236.
- [26] 王文颇,朱小平,李彦生,等. 菘蓝营养生长期干物质积累与氮、磷、钾吸收动态的研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(15):1195-1197.

[责任编辑 顾雪竹]