



# 根际土壤重金属和营养成分含量及植株营养生长对波叶金桂鲜花产量的影响

甘丽萍, 唐恒, 田辉, 李豪

(重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆万州 404100)

**摘要:**【目的】探究根际土壤重金属和营养成分含量及植株营养生长对波叶金桂鲜花产量的影响, 为以采收鲜花为栽培目的的波叶金桂栽培点选择提供参考依据。【方法】采集重庆市万州五桥区(万州)、湖北省恩施新城区(恩施)和重庆市巫溪县文峰镇(巫溪)3个栽培点波叶金桂的根际土壤及叶片和鲜花样品, 测定其重金属和营养成分含量及一年内不同时间点叶片的光合参数, 分析根际土壤、叶片和鲜花中的矿质元素含量及不同栽培点植株叶片光合能力和温度条件对波叶金桂花量的影响。【结果】3个栽培点波叶金桂根际土壤的重金属汞、镉、铅和砷含量均未超过国家标准, 巫溪栽培点波叶金桂叶片和鲜花的重金属汞、镉、铅和砷含量均未超过国家标准; 叶片的矿质元素含量总体上以万州栽培点较高, 鲜花的矿质元素含量总体上以巫溪栽培点较高; 万州栽培点波叶金桂的营养生长较旺盛; 在2—12月间的6个时间点, 万州栽培点波叶金桂叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )呈上升趋势, 胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )在测定时间段的大部分时间点高于另外2个栽培点, 仅8月的高温(38℃以上)对其老叶的 $G_s$ 和 $C_i$ 产生抑制作用, 新叶对高温感应的灵敏性相对较弱; 巫溪栽培点波叶金桂的单株全年鲜花量显著高于万州和恩施栽培点( $P < 0.05$ ); 鲜花的胡萝卜素含量以万州和巫溪栽培点较高, 总黄酮含量以恩施栽培点最高。【结论】巫溪栽培点波叶金桂根际土壤的汞、铅、镉和砷含量均低于临界标准值, 叶片和鲜花的重金属含量不超标, 达食用标准, 鲜花的矿质元素、 $\beta$ 胡萝卜素和总黄酮含量均较高, 鲜花年产量显著高于万州和恩施栽培点, 因此巫溪是较适宜生产波叶金桂鲜花的栽培地。

**关键词:** 波叶金桂; 根际土壤; 矿质元素含量; 重金属含量; 鲜花产量

中图分类号: S685.12

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2020)01-0147-08

## Effects of heavy metals and nutrient component content in rhizosphere soil, plant growth on flower yield of *Osmanthus undulata* Boyejingui

GAN Li-ping, TANG Heng, TIAN Hui, LI Hao

(College of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou, Chongqing 404100, China)

**Abstract:** 【Objective】To explore the effects of heavy metals and nutrient component content in rhizosphere soil, plant growth on flower yield of *Osmanthus undulata* Boyejingui, and to provide reference for selecting cultivation sites of Boyejingui for the purpose of collecting fresh flowers. 【Method】Rhizosphere soils, leaves and flowers of three Boyejingui cultivation sites in Wuqiao District, Wanzhou, Chongqing (Wanzhou), Xincheng District, Enshi, Hubei (Enshi) and Wenfeng Town, Wuxi, Chongqing (Wuxi) were collected to determine the contents of heavy metals and nutrients, photosynthetic parameters of leaves at different time points in the year, and the effects of content differences of mineral elements in rhizosphere soils, leaves and flowers, as well as the photosynthetic capacity and temperature conditions of leaves of Boyejingui at different cultivation sites on flower yield were analyzed. 【Result】The contents of mercury (Hg), cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As) in the rhizosphere soils of three cultivation sites did not exceed the national standards, and the contents of Hg, Cd, Pb and As in the leaves and flowers in Wuxi did not exceed the national standards. The content of mineral elements in leaves of Wanzhou was higher than those of other cultivation sites, and the content of mineral elements in flowers of Wuxi was the highest. The vegetative growth in Wanzhou was vigorous. In the survey of six time points from February to December, the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), transpiration rate ( $T_r$ ) of Wanzhou cultivation site showed increasing trend, and intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) of the leaves were higher than

收稿日期: 2019-04-26

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyj-msxm1218); 重庆市教委项目(KJ1710246)

作者简介: 甘丽萍(1979-), 博士, 教授, 主要从事植物生理与病理研究工作, E-mail: ganmei790717@163.com

those of the other two cultivation site at most time points during the determination period, and only the  $G_s$  and  $C_i$  in August (above 38 °C) were inhibited. The sensitivity of the new leaf to high temperature was relatively weak. The annual yield of fresh flowers per tree in Wuxi were significantly higher than Wanzhou and Enshi cultivation sites. The carotene content of fresh flowers in Wanzhou and Wuxi was higher than Enshi cultivation site, and the total brass content in Enshi cultivation sites was the highest. 【Conclusion】The contents of Hg, Pb, Cd and As in rhizosphere soil are all lower than the critical standards and contents of heavy metals in leaves and flowers of Boyejingui in Wuxi cultivation site do not exceed the standard, and reach the edible standard. The annual yield of fresh flowers is significantly higher than other two cultivation sites, the contents of mineral elements,  $\beta$ -carotene and total falconoid in fresh flowers are all higher. Thus, Wuxi is a suitable cultivation site for producing fresh Boyejingui.

**Key words:** *Osmanthus fragrans* Boyejingui; rhizosphere soil; mineral elements content; heavy metal content; flowers yield

**Foundation item:** Chongqing General Program of Natural Science Foundation (cstc2019jcyj-msxm1218); Project of Chongqing Education Commission (KJ1710246)

## 0 引言

【研究意义】桂花 (*Osmanthus fragrans* Lour.) 隶属于木犀科 (Oleaceae) 木犀属 (*Osmanthus*), 是我国十大传统名花之一, 是集绿化、美化和香化于一体的观赏与食用兼备优良园林树种, 以桂花为原料制作的桂花茶是中国特产茶 (夏科等, 2018)。桂花以花色可划分为波叶金桂 (*O. fragrans* Boyejingui)、银桂和丹桂, 以叶型可分为柳叶桂、金扇桂、滴水黄、葵花叶和柴柄黄, 以花期可分为八月桂、四季桂和月月桂等。目前已有一定规模的桂花栽培点为江苏苏州、湖北咸宁、浙江杭州、广西桂林和四川越西县新乡乡等, 南京、重庆、武汉和长沙等地也有大量种植 (杨康民, 2000)。三峡库区气候湿润, 是波叶金桂生长适宜地之一。波叶金桂是金桂品种群中的优异品种, 产于长三角、湖北和安徽等地, 在三峡库区尚未大规模栽培 (林燕青等, 2015)。因此, 比较该区域几个栽培点波叶金桂根际土壤、叶片和鲜花中的营养成分差异, 明确波叶金桂在三峡库区的适生条件, 对以采收鲜花为栽培目的的波叶金桂适宜栽培点选择具有重要意义。【前人研究进展】关于桂花营养生长及营养成分方面的研究已有较多报道。陈洪国 (2007) 研究3个品种桂花矿质元素含量的年周期变化, 结果发现其总生长量与鲜花产量差异显著, 总生长量排序为柳叶桂>山桂>四季桂, 而全年鲜花产量排序为柳叶桂>四季桂>山桂。Tash等 (2008) 研究显示, 桂花的黄酮类成分含量为12种常见植物之最。杨秀莲等 (2012) 研究表明, 桂花品种间营养成分存在明显差异, 其中波叶金桂的营养价值较高。邱芳等 (2013) 分析不同龄期桂花花芽分化期的矿质元素含量, 发现幼年树叶片中氮、磷、锌和锰含量比成年树高, 而钙、镁、铁、钾、可溶性糖含量和C/N比成年树低, 铜含量在二者间无差异。徐广平等 (2013) 观测

冬季异常低温下桂花矿质元素含量的变化情况, 结果显示, 桂花叶片通过矿质元素含量与生理指标的相互协调, 对冬季异常低温具有一定的适应性。孙月雅等 (2018) 建议将盛花期微量元素含量差异明显的5种丹桂花瓣混合制成食品, 能有效补充人体所缺部分微量营养元素。植物的营养生长状况与生理生化参数密切相关, 周莉和刘莉 (2011) 研究认为, 影响类胡萝卜素生物合成的因素会直接或间接影响植物光合作用; 徐友等 (2016) 研究显示, 银杏的黄酮含量与净光合速率 ( $P_n$ ) 具有一定联系, 但彼此间的线性关系不明显。气体交换参数主要包括  $P_n$ 、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率 ( $T$ ) 和胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 等, 是衡量植物光合能力的重要指标 (郭丽丽等, 2018), 但至今鲜见关于桂花营养生长与生理生化方面的研究报道。【本研究切入点】目前, 三峡库区波叶金桂栽培面积逐年扩大, 其中的重庆市巫溪文峰镇舒家坪股份合作社毗邻巫溪红池坝, 生态保持较好, 已形成具有30多ha主产桂花茶的波叶金桂栽培基地, 同时, 在重庆三峡学院校园也有相当规模的波叶金桂栽培, 但针对三峡库区不同栽培点波叶金桂根际土壤、植株营养生长及气温对其鲜花产量影响的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】分析重庆市万州五桥区、湖北恩施新城区和重庆市巫溪文峰镇栽培点波叶金桂的年生长量、根际土壤、叶片与鲜花中矿质元素含量的相关性, 为以采收鲜花为栽培目的的波叶金桂栽培点选择提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为三峡库区重庆市万州五桥区 (万州)、湖北省恩施新城 (恩施) 和重庆市巫溪文峰镇 (巫溪) 3个栽培点的波叶金桂, 各栽培点的环境参数见表1。观察发现, 万州栽培点 (重庆三峡学院百安

坝校园内)的波叶金桂物候期为:3月初开始萌芽,5月初新梢停止生长进入花芽分化始期,8月花芽分化基本完成,9月中下旬进入开花期,10月初为盛花期。各栽培点一年中的最冷时期均在12月底(各栽培点均有低于0℃的气温,其中巫溪栽培点低于

0℃气温维持时间更长,超过1个月,万州栽培点低于0℃仅几天);最热月在8月,巫溪栽培点的高温在33℃以上,万州栽培点的高温在38℃以上。3个栽培点桂树全年无施肥,无修剪,自然雨水灌溉,自然养护。

表 1 3个波叶金桂栽培点的环境参数(2018年)

Table 1 Environmental parameters of three Boyejingui planting places(2018)

栽培点 Planting place	经度(E) Latitude	纬度(N) Longitude	海拔(m) Altitude	气温(℃) Temperature					
				2月1日 Feb. 1	4月1日 Apr. 1	6月1日 Jun. 1	8月1日 Aug. 1	10月1日 Oct. 1	12月29日 Dec. 29
巫溪 Wuxi	30°76′	108°45′	926	-1~8	12~20	13~25	20~33	12~20	-5~2
恩施 Enshi	30°35′	109°49′	418	0~8	13~24	18~23	24~33	16~20	-2~1
万州 Wanzhou	31°43′	109°45′	394	2~10	15~22	20~30	26~38	17~24	3~5

气温数据来自天气后报网<http://www.tianqihoubao.com/weather/City.aspx>

Temperature date came from the weather report network <http://www.tianqihoubao.com/weather/City.aspx>

## 1.2 波叶金桂生长量和花量测定

于2018年3月上旬随机标记20株成年波叶金桂树,测定各生长参数的起始量。于2019年3月初测定年生长量,其中株高年增长量取20株的平均值;单株全年花量统计其中10株的平均值,总发枝数为统计其中10株的总发枝数;年新梢平均长度和每枝条抽梢数为10株、每株50枝新梢测定值的平均值;年生长总量以年发枝数×新梢平均长度计算。鲜花采集中在花后第2和第3 d(植株上超过50%花序的花朵开放时期)的上午露水干后(10:00)进行,在树下铺上塑料薄膜摇花,以全树90%的花落下为准,去除杂质后即时称取鲜重。

## 1.3 波叶金桂叶片气体交换参数测定

以波叶金桂当年生新梢上的叶片为新叶,随机选取自上而下第1或第2张叶片;以前一年生长新梢枝条发出、下部颜色已深绿的叶片为老叶。自2018年2月1日开始,每隔2个月利用GFS-3000光合仪测定一次3个栽培点新叶与老叶的 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 和 $T_s$ 等光合参数,每处理测定6张叶片,取平均值。

## 1.4 矿质元素含量及营养成分测定

于2018年9月20日—10月5日波叶金桂盛花期采集各栽培点波叶金桂的根际土壤、叶片和鲜花样品,土样的采集是取1.2中标记植株根际表层10 cm熟土(去除落叶杂草),叶片和鲜花在同株波叶金桂上采集,叶片为当年生叶,鲜花为正在开放(植株上超过50%花序的花朵开放时期)的鲜花,即将1~2年生枝连花朵一起剪下,再将花朵采下,用冰盒保存带回实验室速冻干燥,进行矿质元素及营养物质含量测定。栽培点土壤的汞、铅、镉、砷、镁、钙、铁、钾含量及波叶金桂叶片、鲜花的汞、铅、镉、砷、镁、钙、铁、钾含量和营养成分委托重庆万州检验检疫局分别参

照GB/T 17141—1997中的石墨炉原子吸收分光光度法、GB 5009.268—2016中的电感耦合等离子体质谱法进行测定;水含量采用烘干法进行测定;总黄酮含量采用紫外分光法进行测定; $\beta$ -胡萝卜素含量参照GB 5009.8—2016进行测定。

临界参考标准:土壤重金属含量的临界标准参考GB 15618—2018;叶片和鲜花中重金属含量的临界标准参考食品标准GB 2762—2017。

## 1.5 统计分析

试验数据采用SPSS 19.0进行统计分析,并以Excel 2010制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 波叶金桂栽培点根际土壤、叶片及鲜花的重金属和矿质元素含量

2.1.1 土壤的重金属和微量元素含量比较 由表2可知,3个波叶金桂栽培点根际土壤中4种重金属汞、铅、镉和砷含量均低于临界标准值;4种矿质元素中,铁含量明显高于其他元素含量,但3个波叶金桂栽培点的铁含量间无显著差异( $P>0.05$ ,下同),万州和巫溪栽培点的镁含量显著高于恩施栽培点( $P<0.05$ ,下同),万州栽培点的钾含量显著高于巫溪和恩施栽培点,而钙含量显著低于巫溪和恩施栽培点。说明波叶金桂不同栽培点土壤的优势矿质元素不同,但常见重金属元素含量均未超标,能满足桂树栽培对土壤的要求。

2.1.2 叶片的重金属和微量元素含量比较 由表3可知,3个栽培点波叶金桂叶片的汞、镉和铅含量均低于临界标准值,万州和恩施栽培点波叶金桂叶片的砷含量高于临界标准值,巫溪栽培点波叶金桂叶片的砷含量低于临界标准值;3个栽培点波叶金桂叶片的钙

表 2 3个波叶金桂栽培点土壤中的重金属和矿质元素含量比较

Table 2 Content comparison of heavy metals elements and mineral elements in soils of Boyejingui from three planting places

重金属元素 Heavy metal element	栽培点 Planting place	含量(mg/kg) Content	临界标准(mg/kg) Critical standards	矿质元素 Mineral element	栽培点 Planting place	含量(mg/kg) Content	
汞 Hg	万州	<0.10	1.3	铁 Fe	万州	10291.80±1232.40	
	巫溪	<0.10	1.3		巫溪	10857.10±876.80	
	恩施	<0.10	1.3		恩施	9636.40±678.90	
镉 Cd	万州	<0.10	0.30		镁 Mg	万州	2481.00±128.50a
	巫溪	<0.10	0.30			巫溪	1714.50±134.70a
	恩施	<0.10	0.30			恩施	514.70±78.90b
铅 Pb	万州	9.62±0.56	70.00		钙 Ca	万州	2212.10±341.20b
	巫溪	20.34±3.78	70.00			巫溪	4654.30±235.70a
	恩施	10.91±2.43	70.00			恩施	4050.80±241.90a
砷 As	万州	19.70±2.89	40.00	钾 K	万州	7560.40±261.80a	
	巫溪	36.10±8.58	40.00		巫溪	2905.40±452.60b	
	恩施	19.50±7.56	40.00		恩施	1991.80±152.40b	

同一元素同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。表3~表5同

Different lowercase letters after the same element of the same column represented significant difference ( $P<0.05$ ). The same was applied in Table 3-Table 5

表 3 3个栽培点波叶金桂叶片的重金属和矿质元素含量比较

Table 3 Content comparison of heavy metals and mineral elements in the leaves of Boyejingui from three planting places

重金属元素 Heavy metal element	栽培点 Planting place	含量(mg/kg) Content	临界标准(mg/kg) Critical standards	矿质元素 Mineral element	栽培点 planting place	含量(mg/kg) Content	
汞 Hg	万州	<0.10	0.01	铁 Fe	万州	40.80±1.80a	
	巫溪	<0.10	0.01		巫溪	9.63±3.20b	
	恩施	<0.10	0.01		恩施	1.10±0.45b	
镉 Cd	万州	<0.10	0.05		镁 Mg	万州	647.70±23.60a
	巫溪	<0.10	0.05			巫溪	207.90±19.80b
	恩施	<0.10	0.05			恩施	99.50±16.50b
铅 Pb	万州	<0.10	0.10		钙 Ca	万州	4546.50±342.70a
	巫溪	<0.10	0.10			巫溪	2212.60±347.20b
	恩施	<0.10	0.10			恩施	1658.30±231.60b
砷 As	万州	0.92±0.12	0.50	钾 K	万州	6521.30±236.70	
	巫溪	0.15±0.12	0.50		巫溪	7263.90±562.80	
	恩施	0.54±0.23	0.50		恩施	7968.70±820.90	

和钾含量远高于铁和镁含量;万州栽培点波叶金桂叶片的铁、镁和钙含量显著高于其余2个栽培点;各栽培点波叶金桂叶片的钾含量差异不显著。可见,总体上以万州栽培点波叶金桂叶片的矿质元素含量较高。

2. 1. 3 鲜花的重金属和微量元素含量比较 由表4可知,3个栽培点波叶金桂鲜花的汞、镉和铅含量均低于临界标准值,万州和恩施栽培点波叶金桂鲜花的砷含量高于临界标准值,巫溪栽培点波叶金桂鲜花的砷含量低于临界标准值,与叶片中的检测结果一致,参考食品标准GB 2762—2017的要求,巫溪栽培点波叶金桂的鲜花符合食用标准;3个栽培点波叶金桂鲜花的钾含量远高于其他3种微量元素含量;钾和铁含量均以巫溪栽培点最高,万州栽培点次之,恩施栽培点最低,三者差异显著;钙含量也以巫溪栽培点最高,万州栽培点次之,恩施栽培点最低,但三者差异不显著;镁含量以万州栽培点最高,巫溪栽培点次之,恩施栽培点最低,但三者差异不显著。可见,总体上以巫溪栽培点波叶金桂鲜花的重金属含量符合食品标准要求,且矿质元素含量较高。

综上所述,尽管巫溪栽培点土壤中钾含量显著低于万州栽培点,但在叶片中高于万州栽培点,在鲜花中显著高于万州和恩施栽培点,说明钾元素易在土壤和波叶金桂树体中移动,通过施肥和改良土壤能有效补充波叶金桂生长土壤中钾的不足;而土壤中铁含量较其他元素含量高,在叶片和鲜花中迅速降低,说明土壤中的铁元素易固定,向波叶金桂树体移动性较差,树体需求量也较少。

## 2. 2 波叶金桂的生长能力及鲜花的营养成分

2. 2. 1 波叶金桂的年生长量比较 由表5可知,3个栽培点波叶金桂的起始株高在278.52~291.53 cm,相互间差异不显著;生长一年后株高增长量以万州栽培点最高,巫溪栽培点最低,其中万州栽培点的株高年增长量显著高于巫溪栽培点,与恩施栽培点差异不显著;每枝条的抽梢数为2.43~2.88枝,相互间无显著差异;万州栽培点波叶金桂的新梢平均长度、总发枝数和年生长量均显著高于巫溪和恩施栽培点,表明万州栽培点波叶金桂的营养生长最旺盛;巫溪栽培点波叶金桂的单株全年鲜花产量为3.21 kg,显著

表 4 3个栽培点波叶金桂鲜花重金属与矿质元素含量比较

Table 4 Content comparison of heavy metal elements and mineral elements content in the flowers of Boyejingui from three planting places

重金属元素 Heavy metal element	栽培点 Planting place	含量(mg/kg) Content	临界标准(mg/kg) Critical standards	矿质元素 Mineral element	栽培点 Planting place	含量(mg/kg) Content
汞 Hg	万州	<0.10	0.01	铁 Fe	万州	27.60±1.45b
	巫溪	<0.10	0.01		巫溪	151.60±23.60a
	恩施	<0.10	0.01		恩施	0.79±0.23c
镉 Cd	万州	<0.10	0.05	镁 Mg	万州	521.60±67.40
	巫溪	<0.10	0.05		巫溪	469.30±34.60
	恩施	<0.10	0.05		恩施	409.10±56.80
铅 Pb	万州	<0.10	0.10	钙 Ca	万州	889.70±98.50
	巫溪	<0.10	0.10		巫溪	920.80±123.50
	恩施	<0.10	0.10		恩施	690.20±76.80
砷 As	万州	0.66±0.17	0.50	钾 K	万州	35751.80±2341.60b
	巫溪	0.11±0.08	0.50		巫溪	47445.00±2019.40a
	恩施	0.53±0.21	0.50		恩施	22026.90±894.60c

表 5 3个栽培点波叶金桂树体的年生长量比较

Table 5 Annual growth comparison of Boyejingui from three planting places

栽培点 Planting place	起始株高 (cm) Initial tree height	株高年增长量 (cm) Annual increase of tree height	每枝条抽梢数(枝) New shoots per branch (shoot)	新梢平均长度 (cm) Average length of new shoot	总发枝数(个) Number of branch (branch)	年生长量(cm) Growth quantity in a year	单株全年花量 (kg) Flower amount per plant in a year
巫溪 Wuxi	289.56±12.52	14.32±2.56b	2.43±1.60	15.61±2.06b	328.52±25.20b	5128.20±1173.95b	3.21±0.85a
恩施 Enshi	278.52±15.20	15.48±2.06ab	2.88±1.81	16.85±2.21b	278.50±32.18b	4692.73±1299.95b	2.68±1.03b
万州 Wanzhou	291.53±12.23	16.32±3.28a	2.66±2.52	18.27±3.16a	334.28±45.21a	6107.30±2168.04a	2.78±1.20b

高于恩施和万州栽培点,即巫溪栽培点波叶金桂的生殖生长最旺盛。

2.2.2 波叶金桂叶片的年光合能力对比 从图1-A1可看出,万州栽培点的波叶金桂在3月初已萌发新叶,4月测定时新叶 $P_n$ 达 $2.50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;巫溪栽培点的波叶金桂在3月底才萌发新叶,4月测定时新叶 $P_n$ 仅为 $0.60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;恩施栽培点的 $P_n$ 居中,为 $1.20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;在4—8月,各栽培点波叶金桂新叶 $P_n$ 随气温的升高而升高,到8月初升至峰值,10月测定时有所下降,到12月进入全年的低谷期;万州和恩施栽培点波叶金桂新叶 $P_n$ 在6月1日测定时显著高于巫溪栽培点,其他各测定时间3个栽培点波叶金桂新叶 $P_n$ 间无显著差异。从图1-A2可看出,在2—6月,巫溪栽培点波叶金桂老叶 $P_n$ 均低于万州和恩施栽培点,但差异不显著;在8月,万州栽培点波叶金桂老叶 $P_n$ 比6月测定时有所降低,巫溪栽培点老叶 $P_n$ 高于万州和恩施栽培点;6—8月各栽培点老叶 $P_n$ 均维持在较高值,8月后均迅速降低,但3个栽培点间差异不显著。从图1-B1可看出,在4月1日—12月1日,波叶金桂新叶 $G_s$ 在万州和恩施栽培点间无显著差异,但二者显著高于巫溪栽培点;各栽培点波叶金桂新叶 $G_s$ 最高值均在10月出现,此后迅速降低。从图1-B2可看出,在测定时间段,各栽培点波叶金桂老叶 $G_s$ 均呈升高—降低—再升高—再降低的变化趋势,2个 $G_s$ 高峰分别出现在6和10月,3个栽培点在这2个时间测定的波叶金桂老叶 $G_s$ 差异显著,其他时间测定的 $G_s$ 无显著差异。从图1-C1可看出,各栽培点波叶金桂新

叶 $T$ 随着测定时间变化均呈先升高后降低的变化趋势,在8月升至最高值后迅速降低,但各时间测定的波叶金桂新叶 $T$ 在3个栽培点间差异不显著。从图1-C2可看出,各栽培点波叶金桂老叶 $T$ 随着测定时间的变化也呈先升高后降低的变化趋势,在8月升至最高值后迅速降低,但各时间测定的波叶金桂老叶 $T$ 无显著差异。从图1-D1可看出,各栽培点波叶金桂新叶 $C_i$ 随着测定时间的变化均呈升高—降低—升高的变化趋势,各时间测定 $C_i$ 在4月最低,3个栽培点间差异显著,其中万州栽培点显著高于另外2个栽培点。从图1-D2可看出,万州栽培点波叶金桂老叶 $C_i$ 在8月显著高于恩施和巫溪栽培点;万州栽培点波叶金桂老叶 $C_i$ 随着测定时间的变化呈降低—升高—降低—升高的变化趋势,2个低谷分别出现在6和10月,恩施和巫溪栽培点的 $C_i$ 呈降低—升高变化趋势,低谷均出现在8月。随着温度的升高,波叶金桂进行光合作用消耗 $\text{CO}_2$ 增多, $C_i$ 降低,但在老叶中8月(8月万州栽培点的气温超过 $38^\circ\text{C}$ )与6月和10月相比未有降低,说明高温对老叶 $C_i$ 的影响较明显。

综上所述,万州栽培点波叶金桂叶片的光合参数在2—12月大部分时间出现较多的高值,仅8月的高温对其老叶 $G_s$ 和 $C_i$ 具有抑制趋势;光合参数在新叶中一年的变幅与老叶存在差异,说明新叶对高温感应的灵敏性相对较弱。

2.2.3 波叶金桂鲜花的部分营养成分比较 从图2可看出,各栽培点波叶金桂鲜花的水分含量无显著差异;巫溪和恩施栽培点鲜花的 $\beta$ 胡萝卜素含量

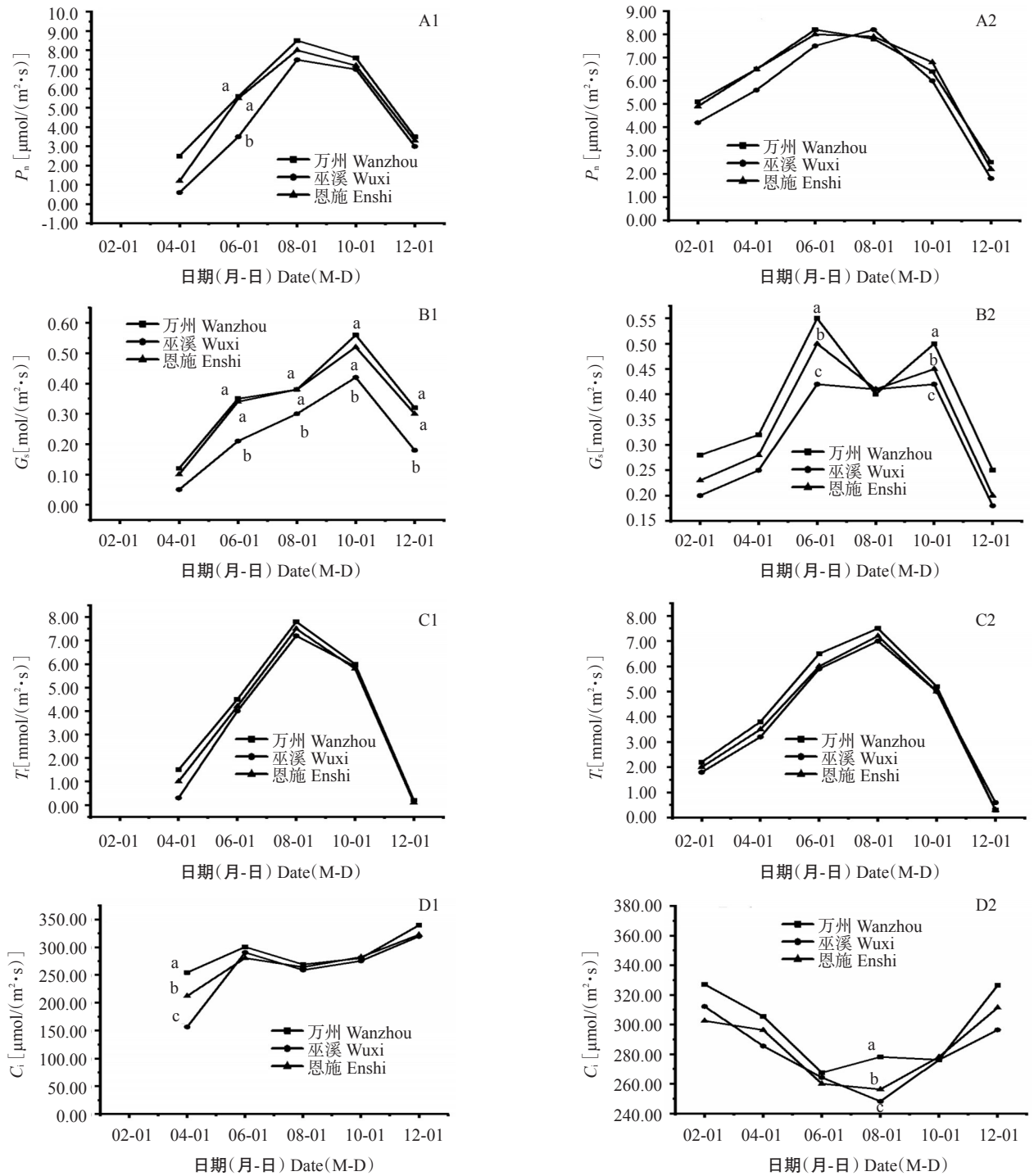


图 1 3个栽培点波叶金桂叶片光合作用参数的月变化趋势

Fig.1 Monthly change trends of photosynthesis parameters in leaves of Boyejingui from three planting places

A1: 新叶  $P_n$ ; A2: 老叶  $P_n$ ; B1: 新叶  $G_s$ ; B2: 老叶  $G_s$ ; C1: 新叶  $T_r$ ; C2: 老叶  $T_r$ ; D1: 新叶  $C_i$ ; D2: 老叶  $C_i$ 。

同一测定时间点不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

A1:  $P_n$  of new leaf; A2:  $P_n$  of old leaf; B1:  $G_s$  of new leaf; B2:  $G_s$  of old leaf; C1:  $T_r$  of new leaf; C2:  $T_r$  of old leaf; D1:  $C_i$  of new leaf; D2:  $C_i$  of old leaf.

Different lowercase letters in the same measuring time point represented significant difference ( $P < 0.05$ )

差异不显著,但均显著高于万州栽培点;恩施栽培点鲜花的总黄酮含量显著高于万州和巫溪栽培点,万州栽培点与巫溪栽培点无显著差异。说明波叶金桂营养生长强弱与鲜花中总黄酮含量高低无直接相关性,花量受树体营养及外界环境等综合因素影响。

### 3 讨论

#### 3.1 不同栽培点桂花树体矿质元素含量的差异

本研究中,3个波叶金桂栽培点根际土壤的铁元素含量均远高于镁、钙和钾含量,叶片和鲜花的钾和钙含量远高于镁和铁含量;万州栽培点波叶金桂

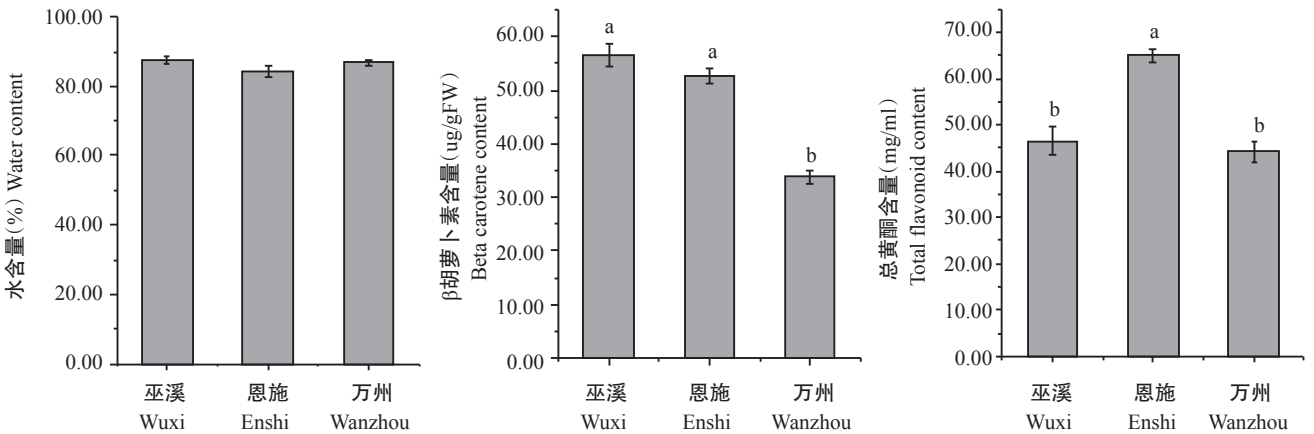


图2 3个栽培点波叶金桂鲜花的部分营养成分比较

Fig.2 Nutritional components comparison of fresh flowers of Boyejingui from three planting places

图柱上不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )Different lowercase letters on the bar represented significant difference ( $P < 0.05$ )

叶片的铁元素含量显著高于另外2个栽培点,但巫溪栽培点波叶金桂鲜花的铁含量显著高于另外两个栽培点,说明铁元素在不同栽培点波叶金桂器官中的转移能力存在差异;万州栽培点波叶金桂叶片的镁含量显著高于另外2个栽培点,但镁含量在3个栽培点鲜花中无显著差异,而巫溪栽培点的鲜花产量最高,说明镁从叶片转移至花中不完全同步,与张亚晨(2018)的研究结果相似。本研究结果表明,波叶金桂花期叶片的钾含量较低,而鲜花的钾含量较高,说明钾元素更容易在波叶金桂新陈代谢最旺盛的部位聚集,与陈洪国等(2008)的研究结果一致。张亚晨(2018)研究发现,钾浓度小于25.00 mg/kg时对豇豆根中的镁含量具有协同作用,超过该浓度则产生拮抗作用,本研究中钾元素含量在同一栽培点波叶金桂的根际土壤、叶片和鲜花中依次增加而镁元素依次减少是否与拮抗效应有关还需进一步研究证实。总体来看,巫溪栽培点波叶金桂鲜花中铁和钾含量显著高于万州和恩施栽培点,其年产鲜花量也高于万州和恩施栽培点,说明矿质元素是影响桂花花芽分化的重要因素,其他因素如环境条件、内源激素和核酸含量及基因调控等对桂花花芽分化的影响还需进一步探究。

### 3.2 波叶金桂营养生长和光合能力与花量及成分含量的关系

本研究调查3个栽培点波叶金桂的起始株高为278.52~291.53 cm,三者差异不显著,而一年后万州栽培点波叶金桂营养生长的大部分参数显著高于巫溪和恩施栽培点,与桂花较喜阳光,在全光照下其枝叶生长茂盛(徐广平等,2013)及万州栽培点波叶金桂叶片生长较早有一定关系。观察发现,万州栽培点校园中植被密度较小,通风条件较佳,2019年4月1日气温为15~22 ℃,此时新梢平均长度已达15 cm,甚至有些超过25 cm,而巫溪栽培点同期气温为12~

20 ℃,新梢刚萌叶不久。

巫溪栽培点波叶金桂的单株全年鲜花量为3.21 kg,显著高于恩施和万州栽培点,与徐广平等(2013)研究认为桂花花芽分化对气温、相对湿度等环境条件虽无特殊要求,但持续一定时间的相对低温能显著促进其花芽分化、增加开花量的观点一致。本研究观察发现,巫溪栽培点在冬季有1个多月0 ℃以下的低温,而万州栽培点冬季维持0 ℃以下温度的天气只有数天,说明巫溪栽培点冬季低温下桂花叶片对异常低温有较高的抗逆性,衰老程度不严重,在适度低温下叶片通过矿质元素含量与生理指标的相互协调,表现出有利于花芽分化的效应;在开花前期的8月,巫溪栽培点适度的高温(不超过33 ℃,明显低于万州栽培点的38 ℃高温)对波叶金桂花芽生长非常有利。

本研究中,随着气温的升高,3个栽培点全年6个时间点测定的波叶金桂叶片 $P_n$ 、 $C_i$ 和 $T_s$ 在2—12月逐渐升高,在8月前后开始降低,新叶的这3个指标从8月后高于老叶,其中,万州栽培点的 $P_n$ 最高, $C_i$ 也最高,但在8月该栽培点波叶金桂老叶 $C_i$ 比6月高,说明极限高温(38 ℃以上)对万州栽培点波叶金桂叶片的气孔开放产生抑制作用,与吴青青(2015)对3种阔叶树的研究结果相似。张成军等(2005)研究也表明,干旱和高温(夜间30 ℃)可降低银杏对光的适应范围,银杏光能利用效率变低, $G_s$ 下降, $P_n$ 降低,说明极端高温对光合作用具有抑制作用。

叶片光合速率排序为成熟叶(平均生长期3~4个月)>新叶(平均生长期1~2个月)>老叶(平均生长期在6个月以上),成熟叶的功能最完整,是光合作用的主要贡献者(衣宁等,2014;吴青青,2015)。本研究中,波叶金桂新叶 $P_n$ 自8月后高于老叶,此时叶龄为4~5个月,已经成为成熟叶,其各项功能均已达最

优水平。从营养成分角度来看,植物新展开叶与老叶间光合速率的差异随磷浓度的不同而存在差异(牛芳华和李志辉,2015),本研究中未调查磷元素含量,有待今后继续开展研究探讨。

## 4 结论

重庆市巫溪栽培点波叶金桂叶片和鲜花的重金属含量不超标,达食用标准要求,鲜花年产量显著高于万州和恩施栽培点,其中鲜花的矿质元素含量、β胡萝卜素含量和总黄酮含量均较高,因此,重庆市巫溪是较适宜生产波叶金桂鲜花的栽培地。

### 参考文献:

- 陈洪国. 2007. 3个桂花品种生长、花量及光合作用的年周期变化[J]. 华中农业大学学报, 26(4):546-551. [Chen H G. 2007. Annual variation of growth, flowering and photosynthesis of three *Osmanthus fragrans* varieties[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 26(4):546-551.]
- 陈洪国,周开兵,张红艳. 2008. 三个桂花品种生长量、花量及叶片矿质营养含量变化研究[J]. 武汉植物学研究, 26(1):108-112. [Chen H G, Zhou K B, Zhang H Y. 2008. Studies on the changes of growth amount, flower amount and leaf mineral nutrient content of three *Osmanthus fragrans* varieties[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 26(1):108-112.]
- 郭丽丽,郝立华,贾慧慧,李菲,张茜茜,曹旭,徐明,郑云普. 2018. NaCl胁迫对两种番茄气孔特征、气体交换参数和生物量的影响[J]. 应用生态学报, 29(12):3949-3958. [Guo L L, Hao L H, Jia H H, Li F, Zhang Q Q, Cao X, Xu M, Zheng Y P. 2018. Effects of NaCl stress on stomatal traits, leaf gas exchange parameters, and biomass of two tomato cultivars[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 29(12):3949-3958.]
- 林燕青,杨秀莲,凌敏,王良桂. 2015. 11个桂花品种花瓣与叶片中矿质元素含量的比较[J]. 西部林业科学, 44(4):79-83. [Lin Y Q, Yang X L, Ling M, Wang L G. 2015. Comparison of the contents of mineral elements in petals and leaves of 11 *Osmanthus fragrans* varieties[J]. Western Forestry Science, 44(4):79-83.]
- 牛芳华,李志辉. 2015. 邓恩桉幼苗光合生理对不同磷浓度的响应[J]. 西南农业学报, 28(4):1617-1622. [Niu F H, Li Z H. 2015. Response of photosynthetic physiology of eucalyptus Dunne seedlings to different phosphorus concentrations[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 28(4):1617-1622.]
- 邱芳,张波,史玉敏,范付华,杨之帆,陈洪国. 2013. 不同龄期桂花花芽分化期间矿质元素和可溶性糖含量的变化[J]. 安徽农业科学, 41(24):10024-10026. [Qiu F, Zhang B, Shi Y M, Fan F H, Yang Z F, Chen H G. 2013. Changes of mineral elements and soluble sugar contents during flower bud differentiation of *Osmanthus fragrans* at different ages[J]. Anhui Agricultural Sciences, 41(24):10024-10026.]
- 孙月雅,白笑笑,林燕萍,张静. 2018. 丹桂等五种主要桂花营养成分分析[J]. 现代食品, (24):83-86. [Sun Y Y, Bai X X, Lin Y P, Zhang J. 2018. Analysis of nutritional components of five main *Osmanthus fragrans*[J]. Modern Food, (24):83-86.]
- 吴青青. 2015. 三种阔叶树不同生长时期叶片的光合特性及环境响应[D]. 南京:南京林业大学.[Wu Q Q. 2015. Photosynthetic characteristics and environmental response of leaves of three broad-leaved trees at different growth stages[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University]
- 夏科,蒋柏生,赵志国,范进顺,文桂喜,李菲,高丽梅,蒋巧媛,仇硕. 2018. 桂林地区不同桂花品种花香成分比较分析[J]. 广西植物, 38(11):1493-1504. [Xia K, Jiang B S, Zhao Z G, Fan J S, Wen G X, Li F, Gao L M, Jiang Q Y, Qiu S. 2018. Comparative analysis of floral composition of different *Osmanthus fragrans* cultivars in Guilin[J]. Guizhou, 38(11):1493-1504.]
- 徐广平,何成新,李先琨,邱正强,黄玉清,姚月锋,孙英杰,潘复静. 2013. 园林植物桂花叶片矿质元素及生理特征对冬季异常低温的响应[J]. 核农学报, 27(3):365-372. [Xu G P, He C X, Li X K, Qiu Z Q, Huang Y Q, Yao Y F, Sun Y J, Pan F J. 2013. The response of mineral elements and physiological characteristics of *Osmanthus fragrans* leaves to abnormal low temperature in winter[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 27(3):365-372.]
- 徐友,王欢利,汪贵斌,曹福亮. 2016. 温度和光照强度对银杏叶黄酮合成的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 36(4):30-34. [Xu Y, Wang H L, Wang G B, Cao F L. 2016. Effects of temperature and light intensity on the synthesis of flavonoids in *Ginkgo biloba* leaves[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 36(4):30-34.]
- 杨康民. 2000. 桂花[M]. 上海:上海科学技术出版社. [Yang K M. 2000. *Osmanthus fragrans*[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press.]
- 杨秀莲,王良桂,文爱林. 2012. 桂花花瓣营养成分分析[J]. 江苏农业科学, 40(12):334-336. [Yang X L, Wang L G, Wen A L. 2012. Analysis of nutritional components of *Osmanthus fragrans*[J]. Jiangsu Agricultural Science, 40(12):334-336.]
- 衣宁,赵文倩,刘倩,侯念伟. 2014. 油松新生叶与老叶光合功能的比较[J]. 林业科技, 39(6):10-14. [Yi N, Zhao W Q, Liu Q, Hou Y T, Qiu N W. 2014. Comparison of photosynthetic function between new leaves and old leaves of *Pinus tabulaeformis*[J]. Forestry Science & Technology, 39(6):10-14.]
- 张成军,郭佳秋,陈国祥,解恒才. 2005. 高温和干旱对银杏光合作用、叶片中黄酮苷和萜类内酯含量的影响[J]. 农村生态环境, (3):11-15. [Zhang C J, Guo J Q, Chen G X, Xie H C. 2005. Effects of high temperature and drought on photosynthesis, flavonoid glycosides and terpene lactones in leaves of *Ginkgo biloba* L.[J]. Rural Eco-Environment, (3):11-15.]
- 张亚晨. 2018. 简述镁元素对植物的作用[J]. 农业开发与装备, (11):166. [Zhang Y C. 2018. Briefly describe the effect of magnesium on plants[J]. Agricultural Development & Equipments, (11):166.]
- 周莉,刘莉. 2011. 类胡萝卜素生物合成的调控因素及其对光合作用的影响[J]. 天津农业科学, 17(5):5-8. [Zhou L, Liu L. 2011. Regulatory factors of carotenoid biosynthesis and its effects on photosynthesis[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 17(5):5-8.]
- Tash T H, You-Chia Chien Y C, Lee C W, Tssh P J. 2008. *In vitro* antimicrobial activities against cariogenic streptococci and their abtioxidant capacities: Acomparative study of green tea versus different herbs[J]. Food Chemistry, 110: 859-865.