·中药农业·

当归的形态变化特征与物质积累进程△

武伟国[1]，蔡子平[1]，王国祥[1*]，王波[2]

1. 甘肃省农业科学院 中药材研究所/甘肃省中药材种质改良与质量控制工程实验室/甘肃省名贵中药材驯化与种苗繁育工程中心，甘肃　兰州　730070；

2. 兰州海关技术中心 食品安全实验室，甘肃　兰州　730000

［摘要］　**目的：**通过研究当归成药期的形态变化特征及物质积累进程，为当归的规范化种植提供参考。**方法：**以当归为材料进行田间试验，定期取样并测定茎叶性状，根部性状，根部浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和 *Z*-藁本内酯质量分数等。**结果：**株高、叶数和叶鲜/干质量在成药期呈先升高后降低的趋势，根长、根粗和根鲜/干质量在成药期呈升高的趋势，浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和 *Z*-藁本内酯的质量分数和总量在成药期均呈升高的趋势。**结论：**茎叶生物量的积累进程快于根部生物量，且浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和 *Z*-藁本内酯的积累进程从属于根部生物量。

［关键词］　当归；形态变化；物质积累

［中图分类号］　R282.2　　［文献标识码］　A　　［文章编号］　1673-4890(2022)10-1945-07

doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.20210813001

Morphological Change Characteristics and Material Accumulative Process of *Angelica sinensis*

WU Wei-guo[1], CAI Zi-ping[1], WANG Guo-xiang[1*], WANG Bo[2]

1. *Institute of Chinese Herbal Medicines*, *Gansu Academy of Agricultural Sciences/Gansu Provincial Engineering Laboratory for Genetic Improvement and Quality Control of Chinese Herbal Medicine/Gansu Provincial Engineering Center for Domestication and Seedling Propagation of Rare Chinese Herbal Medicine*, *Lanzhou* 730070, *China*;

2. *Food Safety Testing Laboratory*, *Lanzhou Customs Technology Center*, *Lanzhou* 730000, *China*

[Abstract]　**Objective**: To provide theoretical references for standardized cultivation of *Angelica sinensis* through studying the morphological change characteristics and the material accumulative process of *A. sinensis* in the medicine period. **Methods**: Seedlings of *A. sinensis* were used as field trial material, and plant samples were collected at regular intervals. The stem-leaf traits, root traits, and mass fractions of root extractum, volatile oil, organic acid, polysaccharide, ferulic acid, and *Z*-ligustilide were determined. **Results**: During the medicine period, the plant height, leaf number, and leaf fresh/dry mass tended to increase and then decrease, while the root length, root thickness, and root fresh/dry mass tended to increase. The mass fractions of root extractum, volatile oil, organic acid, polysaccharide, ferulic acid, and *Z*-ligustilide and the total mass fraction showed a rising tendency during the medicine period. **Conclusion**: The accumulative process of stem-leaf biomass was faster than that of root biomass, and the accumulative process of extractum, volatile oil, organic acid, polysaccharide, ferulic acid, and *Z*-ligustilide was subject to root biomass.

[Keywords]　*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels; morphologic changes; material accumulation

当归 *Angelica sinensis* （Oliv.） Diels 为伞形科（Umbrelliferae）当归属多年生草本植物，以根入药，味甘、辛，性温，含藁本内酯、α-蒎烯等不饱和烃、醇、醚、醛、酮、酚、酸、酯、磷脂、多糖和氨基酸等多种成分，具有调血活血、调经止痛、润肠通便等功效，为临床使用频率最高的中药之一[1]。当归

△［基金项目］　国家自然科学基金项目（81860677）；甘肃省农业科学院农业科技创新专项（2017GAAS29，2019GAAS50，2019GAAS-CHZH04）；中央引导地方科技发展资金项目（22ZY1QA001）

*［通信作者］　王国祥，研究员，研究方向：经济作物育种与栽培；Tel：0931-7601645，E-mail：gdhwgx@163.com

在我国地理分布广泛，具有岷归、川归和云归等多个道地品种，主产区位于甘肃，约占全国产量的70%[2]。

当归的形态变化特征与物质积累进程受遗传特性、环境条件和栽培措施等因素的共同影响，而这方面的研究仅有少量文献报道[3-6]。本研究旨在探讨当归形态特征与药效成分含量变化、物质积累进程的关系，揭示当归产量与品质形成机制，为当归规范化种植提供参考。

1 材料

1.1 样品

样品为2018年甘肃省定西市岷县闾井镇农户所育，经冬季窖藏后，于移栽前进行挑选，由甘肃省农业科学院中药材研究所龚成文研究员鉴定为当归 *Angelica sinensis* （Oliv.） Diels种苗。种苗根长（8.00±1.50）cm，根粗（4.50±0.50）mm，根鲜质量（0.50±0.10）g。药材硫基长效配方肥购于甘肃施可丰生态科技有限公司，N、P_2O_5和K_2O质量分数分别为20%、15%和10%。

1.2 仪器

Secura 224-ICN型分析天平（德国赛多利斯公司）；SP-756P型紫外分光光度计（上海光谱仪器有限公司）；1260 Infinity Ⅱ型高效液相色谱仪（美国安捷伦科技公司）。

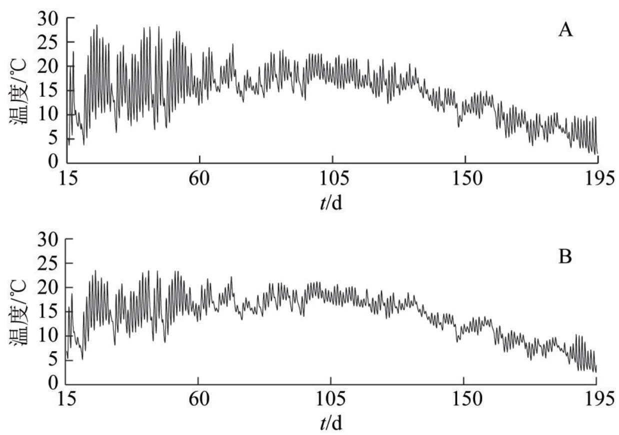
1.3 试药

对照品阿魏酸（批号：D0009741，纯度≥99%）、*Z*-藁本内酯（批号：RFS-G01001909023，纯度≥98%）均购于上海麦克林生化科技有限公司；甲醇为色谱纯；其他试剂均为分析纯。

2 方法

2.1 田间试验

移栽试验于2019年4月至11月进行，6次重复，株行距7.5 cm×40.0 cm，小区面积11.5 m×4.0 m，种植于道地产区甘肃省定西市渭源县会川镇半阴坡村。各小区当归的出苗率>80%，抽薹率<6%，且差异无统计学意义。试验区海拔2500 m，气候高寒阴湿，昼夜温差大，年平均气温4.7 ℃，年平均降水量650 mm，无霜期130 d，土壤类型为黑垆土。试验地土壤有机质质量分数37.1 g·kg^{-1}、速效钾质量分数215 mg·kg^{-1}、速效磷质量分数59.6 mg·kg^{-1}、碱解氮质量分数250 mg·kg^{-1}，pH为7.77，于移栽前基施1200 kg·hm^{-2}药材硫基长效配方肥。2019年试验区气温和10 cm深土壤地温变化趋势见图1。



注：A. 气温；B. 10 cm深土壤地温。

图1 2019年当归田间试验试验区气温和地温变化趋势

2.2 形态性状测定

2019年5月30日至11月10日，每个小区每隔20 d挖取长势均一的植株30株，将茎叶与根部分离并清洗泥土后晾干，测定每个植株的叶数、株高、叶鲜质量、根长、根粗和根鲜质量形态性状并取相应的平均值，叶片枯萎变干后不计入茎叶部分，株高以最大叶片叶基至叶片中心的距离为依据。自然阴干后测定30株植株混合样品的叶干质量和根干质量。

2.3 品质性状的测定

2019年5月30日至11月10日，每个小区每隔20 d挖取长势均一的植株30株，取根部洗涤干净后带回实验室，自然阴干后粉碎（过60目筛），测定30株植株混合样品的浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯质量分数。

2.3.1 浸出物与挥发油的测定 参照《中华人民共和国药典》2020年版方法，以70%乙醇为溶剂，采用热浸法测定浸出物质量分数，采用水蒸气蒸馏法测定挥发油质量分数[7]。

2.3.2 有机酸与多糖含量测定 于25 ℃以50%乙醇超声辅助提取有机酸，以1 mol·L^{-1} HCl酸化提取液至pH为2左右，以正丁醇萃取有机酸。移取有机酸提取液5 mL，以酚酞为指示剂，以0.1 mol·L^{-1} NaOH标准溶液滴定，以溶液由无色变为红色时为

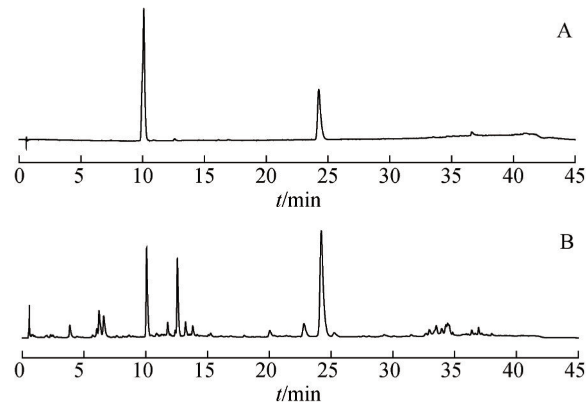
滴定终点。以柠檬酸为基准计算有机酸质量分数。于70 ℃下采用蒸馏水浸提多糖，以Sevage试剂［三氯甲烷-正丁醇（4∶1）］脱蛋白。移取多糖提取液1 mL，依次加入6%苯酚1 mL、蒸馏水1 mL和浓硫酸5 mL，静置10 min后，摇匀，室温放置30 min，以纯水样品为空白对照，于485 nm测定吸光度。以葡萄糖为基准计算多糖质量分数，标准曲线方程为Y=0. 066 6X－0. 030 0，r=0. 999 9，Y表示485 nm处的吸光度，X（mg·L^{-1}）表示葡萄糖的质量浓度。

2. 3. 3　阿魏酸和Z-藁本内酯含量测定　采用高效液相色谱法测定阿魏酸和Z-藁本内酯的含量。

2. 3. 3. 1　对照品溶液制备　精密称取阿魏酸3. 75 mg和Z-藁本内酯10. 00 mg，以含5%甲酸的甲醇溶解后转入50 mL量瓶中，定容至刻度，则得含75 mg·L^{-1}阿魏酸和200 mg·L^{-1} Z-藁本内酯的对照品溶液，使用时按所需倍数稀释。

2. 3. 3. 2　供试品溶液制备　取当归粉末约0. 5 g，精密称定，置具塞锥形瓶中，精密加入70%甲醇20 mL，密塞，称定质量，加热回流30 min，放冷，再称定质量，用70%甲醇补足减失的质量，摇匀，静置，取上清液滤过，取续滤液，经0. 45 μm滤膜滤过，取续滤液，即得供试品溶液。

2. 3. 3. 3　色谱条件　采用Agilent Extend C_{18}色谱柱(250 mm×4. 6 mm，5 μm)；流动相0. 1%甲酸甲醇溶液（A）-0. 1%甲酸水溶液（B），梯度洗脱（0~3 min，10%~15%A；3~12 min，15%~45%A；12~30 min，45%~65%A；30~35 min，65%~80%A；35~40 min，80%~90%A，40~45 min，90%~10%A）；柱温为30 ℃；检测波长为280 nm；流速为0. 2 mL·min^{-1}；进样量为2 μL。对照品溶液与供试品溶液的高效液相色谱图见图2。



注：A. 对照品溶液（稀释倍数为200）；B. 供试品溶液。

图2　对照品及当归供试品溶液的高效液相色谱图

2. 3. 3. 4　检出限与定量限　分别精密量取对照品溶液适量，以含5%甲酸的甲醇倍比稀释，按**2. 3. 3. 3**项下条件测定，以信噪比（S/N）≥3计算检出限，以S/N≥10计算定量限。阿魏酸和Z-藁本内酯的检出限分别为0. 015、0. 040 mg·L^{-1}、阿魏酸和Z-藁本内酯的定量限分别为0. 050、0. 120 mg·L^{-1}。

2. 3. 3. 5　线性范围　分别精密量取对照品溶液10、25、50、100、250 μL并移入50 mL量瓶中，以含5%甲酸的甲醇定容至刻度。按**2. 3. 3. 3**项下条件测定，对峰面积和对照品的质量浓度作回归分析。结果表明，阿魏酸质量浓度在0. 015 0~0. 375 0 mg·L^{-1}与峰面积线性关系良好，Z-藁本内酯质量浓度在0. 040 0~1. 000 0 mg·L^{-1}与峰面积线性关系良好。阿魏酸的标准曲线方程为Y=21 255X－116. 67（r=0. 999 8）；Z-藁本内酯的标准曲线方程为Y=9 800. 7X+90. 37（r=0. 999 3）。

2. 3. 3. 6　精密度试验　精密量取对照品溶液适量，按**2. 3. 3. 3**项下条件连续测定6次。阿魏酸和Z-藁本内酯质量分数的RSD分别为2. 18%和1. 94%，表明仪器精密度良好。

2. 3. 3. 7　稳定性试验　精密量取供试品溶液适量，分别于室温下放置4、8、12、16、18、24 h，按**2. 3. 3. 3**项下条件测定。24 h内阿魏酸和Z-藁本内酯质量分数的RSD分别为2. 65%和2. 78%，表明溶液稳定性良好。

2. 3. 3. 8　重复性试验　精密称取当归样品粉末适量，共6份，按**2. 3. 3. 2**项下方法制备供试品溶液，按**2. 3. 3. 3**项下条件测定。阿魏酸和Z-藁本内酯质量分数的RSD分别为1. 86%和2. 15%，表明方法重复性良好。

2. 3. 3. 9　加样回收率试验　精密称取已知含量的当归样品粉末适量，共6份，分别加入一定质量浓度的对照品溶液适量，按**2. 3. 3. 2**项下方法制备供试品溶液，按**2. 3. 3. 3**项下条件测定，计算加样回收率，结果见表1。阿魏酸和Z-藁本内酯的回收率分别为98. 93%和96. 60%。

2. 4　数据处理

数据以（$\bar{x} \pm s$）的形式表示。以公式（1）或公式（2）为模型，采用Origin 8. 0对物质积累量［以单株计，y（g）］和时间［移栽后天数，t（d）］进行曲线拟合。

表1 当归中阿魏酸和*Z*-藁本内酯的加样回收率

成分	称样量/mg	样品中含量/μg	测得量/μg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
阿魏酸	0.501 2	0.426 0	1.142 6	95.54	98.93	3.76
	0.502 6	0.427 2	1.139 4	94.96		
	0.499 5	0.424 6	1.194 6	102.67		
	0.498 4	0.423 6	1.160 8	98.29		
	0.500 8	0.425 7	1.206 5	104.11		
	0.502 2	0.401 8	1.136 7	97.99		
Z-藁本内酯	0.501 2	5.262 6	7.123 1	93.03	96.60	4.80
	0.502 6	5.277 3	7.316 4	101.96		
	0.499 5	5.244 8	7.301 3	102.83		
	0.498 4	5.233 2	7.075 2	92.10		
	0.500 8	5.258 4	7.142 5	94.21		
	0.502 2	5.273 1	7.182 6	95.48		

注：阿魏酸和*Z*-藁本内酯的加入量分别为0.750 0、2.000 0 μg。

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-2[(t-t_c)/w]^2} \tag{1}$$

$$y = \frac{k}{1 + e^{(a-bt)}} \tag{2}$$

公式（1）中，y_0为偏移因子，A为面积因子，w为宽度因子，t_c为中心因子；公式（2）中，k为饱和因子（容量因子），a为初始因子，b为速率因子。根据公式（2）的二阶微分方程，可以将积累进程划分为3个阶段，即起始期、指数期和稳定期，以$d^2y/d^2t=0.01kb^2$对应的时间为起始期开始时间，以$d^2y/d^2t=-0.01kb^2$对应的时间为稳定期结束时间，以$d^3y/d^3t=0$对应的时间为指数期开始与结束时间[8]。

3 结果

3.1 当归形态特征的变化过程

当归叶数、株高、叶鲜质量、叶干质量和叶干物质质量分数的变化过程见图3~4。由图3可知，当归的叶数和株高随时间均呈先递增后递减的变化趋势，这与老叶枯萎新叶新生相关。叶数从40 d的3片升至120 d的9片，再降至200 d的2片。株高从40 d的8.37 cm升至140 d的53.87 cm，再降至200 d的32.48 cm。由图4可知，当归的叶鲜质量和叶干质量随时间均呈先递增后递减的变化趋势。叶鲜质量从40 d的1.39 g升至140 d的165.90 g，再降至200 d的31.49 g。叶干质量从40 d的0.25 g升至140 d的25.52 g，再降至200 d的9.76 g。当归的叶干物质质量分数随时间呈先递减后递增的变化趋势，从40 d的17.93%降至140 d的15.38%，再升至200 d的31.09%。

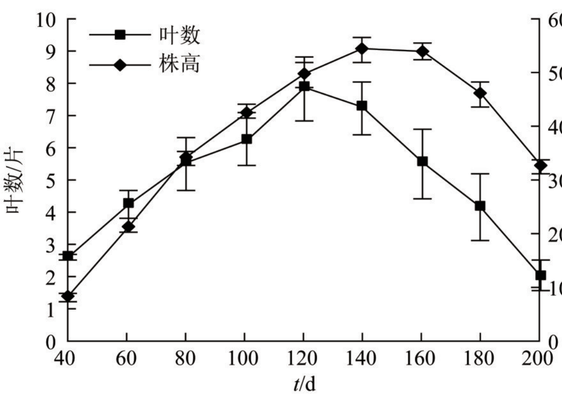


图3 当归叶数及株高的变化趋势（$\bar{x}\pm s$, $n=6$）

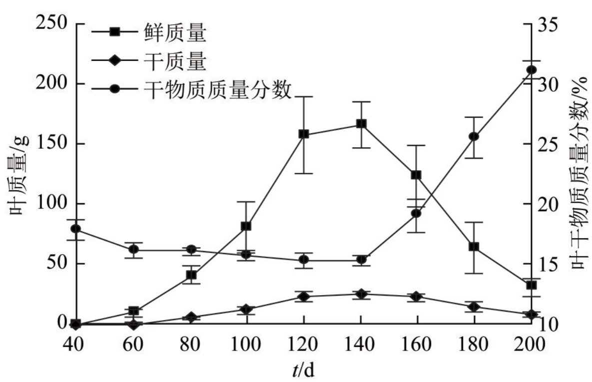


图4 当归叶质量及干物质质量分数的变化趋势（$\bar{x}\pm s$, $n=6$）

当归根长、根粗、根鲜质量、根干质量和根干物质质量分数的变化过程见图5~6。由图5可知，当归的根长和根粗随时间均呈递增的变化趋势。根长从40 d的9.11 cm升至200 d的35.41 cm。根粗从40 d的4.93 mm升至200 d的32.09 mm。由图6可知，当归的根鲜质量和根干质量随时间均呈递增的变

化趋势。根鲜质量从40 d的0.68 g升至200 d的124.29 g。根干质量从40 d的0.14 g升至180 d的38.30 g，再略微降至200 d的38.01 g。当归的根干物质质量分数随时间呈先递减后递增再递减的变化趋势，从40 d的20.12%降至60 d的19.51%，再升至160 d的34.78%，再降至200 d的30.54%。

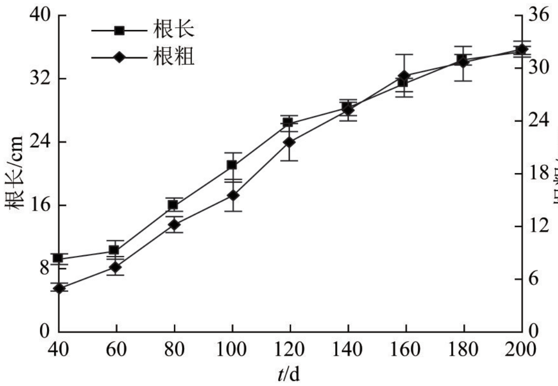


图5　当归根长及根粗的变化趋势（$\bar{x}\pm s$, n=6）

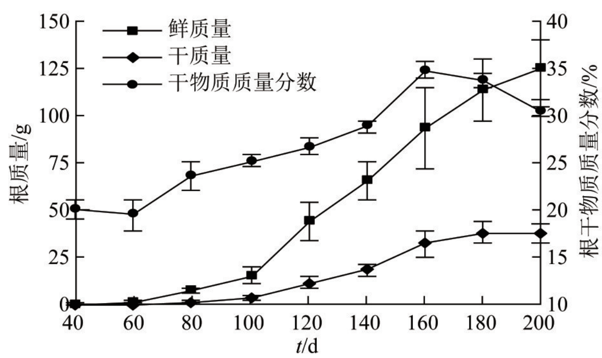


图6　当归根质量及干物质质量分数的变化趋势（$\bar{x}\pm s$, n=6）

当归茎叶与根部的鲜质量、干质量和干物质质量分数比例的变化过程见图7。由图7可知，当归的根叶鲜质量比、干质量比随时间呈先递减后递增的变化趋势。根叶鲜质量比从40 d的0.49降至80 d的0.18，再升至200 d的4.05。根叶干质量比从40 d的0.55降至60 d的0.21，再升至200 d的3.96。当归的根叶干物质质量分数比随时间呈先递增后递减的变化趋势，从40 d的1.13升至140 d的1.88，再降至200 d的0.98。

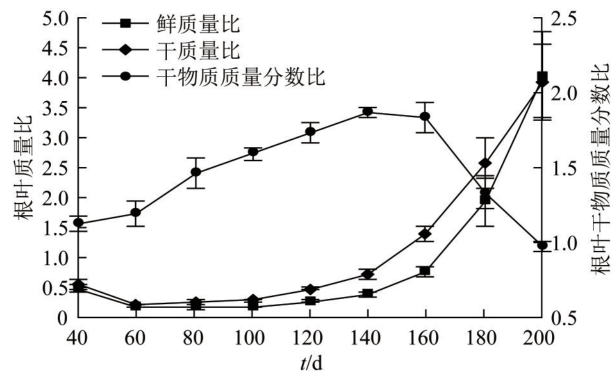


图7　当归根叶鲜质量比、干质量比和干物质质量分数比的变化趋势（$\bar{x}\pm s$, n=6）

3.2　当归药效成分的变化过程

当归浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和Z-藁本内酯含量的变化过程见表2。

浸出物和挥发油是控制芳香类中草药质量的重要指标[9]。由表2可知，当归的浸出物含量随时间呈先递增后递减再递增的变化趋势。浸出物质量分数从40 d的40.33%升至200 d的58.83%。当归的挥发油含量随时间呈先递增后递减的变化趋势。挥发油质量分数从40 d的0.49%升至180 d的1.66%，再降至200 d的1.26%。

当归总有机酸主要包括丁二酸、壬二酸、癸二

表2　当归浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯的质量分数（$\bar{x}\pm s$, n=6）

%

t/d	浸出物	挥发油	有机酸	多糖	阿魏酸	Z-藁本内酯
40	40.33±2.42e	0.49±0.08g	6.47±0.31e	17.25±0.59b	0.050±0.003 1c	0.31±0.041g
60	42.33±2.80de	0.60±0.09fg	6.57±0.18e	17.25±0.58b	0.053±0.004 8c	0.33±0.062g
80	44.17±2.14d	0.71±0.10ef	7.26±0.14d	17.32±0.58b	0.055±0.003 6c	0.35±0.034fg
100	48.67±1.97c	0.75±0.11e	7.39±0.31d	17.51±0.57b	0.057±0.005 0bc	0.41±0.031ef
120	50.00±2.53bc	0.97±0.09d	9.34±0.18c	18.04±0.79ab	0.062±0.005 6b	0.42±0.033e
140	56.50±1.87a	1.26±0.13c	9.45±0.35c	18.17±0.99ab	0.077±0.007 2a	0.65±0.075d
160	52.17±1.94b	1.40±0.12b	9.55±0.31c	18.40±0.57ab	0.080±0.007 0a	0.78±0.050c
180	51.83±1.72b	1.66±0.12a	10.47±0.31b	18.93±0.58a	0.080±0.005 8a	1.02±0.057b
200	58.83±2.23a	1.26±0.13c	11.39±0.31a	19.26±0.46a	0.081±0.006 3a	1.13±0.070a

注：同列不同小写字母表示P<0.05。

酸、茴香酸、肉蔻豆酸、樟脑酸、阿魏酸、烟酸、香草酸、正二十四酸、棕榈酸等，具有很强的抗氧化活性和抗菌活性[10]。多糖作为一类生物大分子，具有广泛的生物学活性。当归多糖由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸等成分组成，对机体免疫系统、造血系统等有明显作用，在抗肿瘤、抗放射性损伤上有良好疗效[11-12]。由表1可知，当归的有机酸含量和多糖含量均随时间呈递增的变化趋势。有机酸质量分数从40 d的6.47%升至200 d的11.39%。多糖质量分数从40 d的17.25%升至200 d的19.26%。

阿魏酸是当归有机酸的代表成分，*Z*-藁本内酯是当归中具有重要生理活性的成分[13]，其常被作为当归的药效标志物。由表1可知，当归的阿魏酸含量和*Z*-藁本内酯含量均随时间呈递增的变化趋势。阿魏酸质量分数从40 d的0.050%升至200 d的0.081%。*Z*-藁本内酯质量分数从40 d的0.31%升至200 d的1.13%。

3.3　当归物质积累进程的非线性拟合

茎叶生物量y（g）随时间t（d）呈先增大后减小的趋势，以高斯方程为模型进行拟合。根部生物量、浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯y（g）等随时间t（d）均呈增大的趋势，以逻辑斯蒂方程为模型进行拟合。

拟合方程及统计分析见表3。由表3可见，对于茎叶生物量，$R^2>0.9500$，$\chi^2(5)<\chi^2_{0.01}(5)=15.09$（$P<0.01$），$F(4,5)>F_{0.01}(4,5)=11.39$（$P<0.01$）；对于根部生物量、浸出物、挥发油、阿魏酸和*Z*-藁本内酯，$R^2>0.9500$，$\chi^2(6)<\chi^2_{0.01}(6)=16.81$（$P>0.01$），$F(3,6)>F_{0.01}(3,6)=9.78$（$P<0.01$），因此，拟合精度和拟合优度均很好。

时间分界及各时期的特征见表4。由表4可知，浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯的积累进程的3个阶段与根部生物量有很高的重叠性。

4　结论与讨论

4.1　当归成药期生长发育期的划分

根据当归茎叶及根部的生长状况，当归成药期生长过程可初步划分为5个阶段：出苗期（0~20 d，移栽至5月中旬）、茎叶缓慢生长期（20~60 d，5月中旬至6月中旬）、茎叶旺盛生长期（60~120 d，6月中旬至8月中旬）、根部旺盛生长期（120~160 d，8月中旬至9月中旬）和根部稳定生长期（160~200 d，9月中旬至11月中旬）。

4.2　当归成药期物质积累规律

生物量的积累与分配过程从表象上反映了植物的生长发育过程。0~20 d期间，根部提供营养以供基芽生长，生物量有所消耗。20~60 d，茎叶及根部生物量的积累速度均较慢，这一阶段主要发生不定根及侧根的构建过程；60~120 d，茎叶生物量的积累速度较快，而根部生物量的积累速度较慢，这一阶段茎叶的快速生长为光合作用创造条件。120~

表3　当归生物量及药效成分积累进程的拟合方程及统计分析（n=9）

检测指标	拟合方程	R^2	$\chi^2(n-k)$	$F(k,n-k)$
茎叶生物量	$y=-0.74+\dfrac{2\,630.45}{78.08\sqrt{\pi/2}}e^{-2\frac{(t-142.59)^2}{78.08^2}}$	0.977 1	2.10	274.47
根部生物量	$y=\dfrac{40.55}{1+e^{(7.85-0.057t)}}$	0.992 9	1.88	791.36
浸出物	$y=\dfrac{22.04}{1+e^{(7.42-0.052t)}}$	0.998 4	0.11	3 532.20
挥发油	$y=\dfrac{0.54}{1+e^{(11.39-0.080t)}}$	0.950 6	2.69×10^{-3}	100.02
有机酸	$y=\dfrac{4.43}{1+e^{(7.55-0.051t)}}$	0.996 4	0.010	1 471.30
多糖	$y=\dfrac{7.42}{1+e^{(7.83-0.056t)}}$	0.994 1	0.051	931.82
阿魏酸	$y=\dfrac{0.031}{1+e^{(9.09-0.064t)}}$	0.996 8	5.17×10^{-7}	1 654.58
Z-藁本内酯	$y=\dfrac{0.44}{1+e^{(9.83-0.063t)}}$	0.998 4	4.43×10^{-5}	2 855.06

注：对于茎叶生物量，k=4；对于根部生物量、浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯，k=3。

表4 当归生物量及药效成分积累进程的时期划分及各时期的特征

检测指标	t_{ini}/d	t_{exp}/d	t_{sta}/d	t_{ter}/d	Δt_{ini}（Δt_{sta}）/d	Δy_{ini}（Δy_{sta}）/g	v_{ini}（v_{sta}）/g·d^{-1}	Δt_{exp}/d	Δy_{exp}/g	v_{exp}/g·d^{-1}
根部生物量	58	115	162	219	57	8.15	0.140	47	23.40	0.50
浸出物	55	117	168	230	62	4.43	0.071	51	12.73	0.25
挥发油	85	125	158	198	40	0.11	2.67×10^{-3}	33	0.31	9.46×10^{-3}
有机酸	58	121	173	236	63	0.89	0.014	51	2.56	0.05
多糖	59	117	165	223	58	1.49	0.026	47	4.29	0.09
阿魏酸	70	121	162	212	50	6.21×10^{-3}	1.23×10^{-4}	41	0.02	4.36×10^{-4}
Z-藁本内酯	83	135	177	228	51	0.09	1.72×10^{-3}	42	0.25	6.07×10^{-3}

注：t_{ini}、t_{exp}、t_{sta}和t_{ter}分别表示起始期、指数期与稳定期的开始时间和稳定期的结束时间；Δt_{ini}、Δt_{exp}和Δt_{sta}分别表示起始期、指数期与稳定期的持续时间；Δy_{ini}、Δy_{exp}和Δy_{sta}分别表示起始期、指数期与稳定期的增长量；v_{ini}、v_{exp}和v_{sta}分别表示起始期、指数期与稳定期的平均增长速率。

200 d，茎叶及根部生物量的积累发生2次质变。在120 d左右，根部生物量的积累速度超过茎叶生物量，这时气温开始<20 ℃。在150 d左右，根部生物量超过茎叶生物量，实现了生物量主要分配区从茎叶到根部的过渡，这时气温开始<15 ℃。特别是在140 d左右，茎叶生物量的积累进入衰退期，这与老叶开始枯萎有关，在160 d左右，根部生物量的积累进入稳定期。

浸出物、挥发油、有机酸、多糖、阿魏酸和*Z*-藁本内酯的积累是当归次生代谢过程的主要表现，在整个观测期，其质量分数分别增加了18.50%、0.76%、2.02%、4.93%、0.03%和0.82%，且积累进程的3个阶段与根部生物量的重叠性很高，即其积累从属于根部生物量。

参考文献

[1] 赵汝能，张承忠，李文惠，等．甘肃中草药资源志：上册[M]．兰州：甘肃科学技术出版社，2007：911-913.
[2] 龚成文，蔺海明，冯守疆，等．当归提早抽薹的科学问题商榷[J]．中国现代中药，2016，18(8)：1012-1015.
[3] 蔺海明，刘学周，刘效瑞，等．栽培方式对当归干物质积累和生长动态影响的研究[J]．中草药，2007，38(2)：257-261.
[4] 肖宇奇，萨日娜，孙宇靖，等．不同生长年限当归化学成分的动态变化分析[J]．中成药，2013，35(3)：588-591.
[5] 葛月兰，钱大玮，段金廒，等．不同产地不同采收期当归挥发性成分动态积累规律与适宜采收期分析[J]．药物分析杂志，2009，29(4)：517-523.
[6] 李聪，黄诗雨，陈丽华，等．药材部位、产地及采收期对中药挥发油成分的差异性分析[J]．中草药，2020，51(20)：5395-5404.
[7] 国家药典委员会．中华人民共和国药典：四部[M]．北京：中国医药科技出版社，2020：232-233.
[8] 武伟国．描述有界变化现象的逻辑斯蒂方程之解析[J]．高师理科学刊，2020，40(1)：16-21.
[9] 倪竹南，吕圭源，楼招欢，等．当归挥发油化学成分和药理作用研究进展[J]．中国中医药信息杂志，2007，14(7)：93-95.
[10] 卢金清，何冬黎，阮小云，等．当归总有机酸的质量标准研究[J]．湖北中医学院学报，2010，12(4)：33-35.
[11] 张新国，王强林，李春雷，等．当归多糖的酶法提取新工艺研究[J]．中医药学报，2012，40(3)：96-100.
[12] 李成军，金香兰，沈云虹．当归多糖的成分及其生物学作用[J]．齐齐哈尔医学院学报，2007，28(9)：1096-1098.
[13] 何树苗，陈元堃，曾奥，等．藁本内酯药理作用及机制研究进展[J]．广东药科大学学报，2021，37(2)：152-156.

（收稿日期：2021-08-13 编辑：戴玮）