

海拔对岷县当归产量调控及关键影响因子分析

王惠珍¹, 张恩和², 高素芳¹, 张延红¹, 晋玲¹, 李应东^{1*}

1. 甘肃中医学院 药理学系, 甘肃 兰州 730000

2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070

摘要: **目的** 在甘肃岷县茶埠乡 2 300~2 800 m 进行当归海拔效应研究, 为探讨当归生态适应性奠定基础。**方法** 采用田间试验和相关分析相结合的方法, 探索海拔对当归产量形成的影响, 明确影响产量的关键因子。**结果** 当归产量随海拔升高而增加, 中海拔和高海拔处理分别比低海拔处理高 30.3%和 22.0%, 差异达显著水平 ($P < 0.05$); 相关分析表明, 温度 ($R^2 = -0.745 3$) 和降雨量 ($R^2 = 0.741 7$) 是影响当归产量的关键生态因子, 丙二醛 (MDA) ($R^2 = -0.911 8$) 和可溶性糖量 (SS) ($R^2 = -0.883 1$) 是影响当归产量的关键生理生化因子, 胞间 CO_2 浓度 (Ci) ($R^2 = -0.739 3$) 和净光合速率 (Pn) ($R^2 = -0.733 2$) 是影响当归产量的关键光合特性因子。**结论** 升高海拔、降低环境温度、增加降雨量和有效光辐射、降低植株体内 MDA 量、SS 量和 Ci 均有利于提高当归产量。

关键词: 当归; 海拔; 产量; 关键生态因子; 关键生理生化因子; 关键光合特性因子

中图分类号: R282.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2670(2013)14 - 1990 - 05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2013.14.023

Regulation and control of *Angelica sinensis* yield by altitude and analysis on key influence factors

WANG Hui-zhen¹, ZHANG En-he², GAO Su-fang¹, ZHANG Yan-hong¹, JIN Ling¹, LI Ying-dong¹

1. Department of Pharmacy, Gansu College of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Objective To explore the ecological adaptability of *Angelica sinensis* in altitude of 2 300—2 800 m in Chabu countryside, Min County, Gansu province. **Methods** Using the field experiment and correlation analysis, the effect of altitude on the yield formation was explored, and the key factors affecting yield were investigated. **Results** The yield of *A. sinensis* increased with the elevation rising, the yields in the mid- and high-altitudes were higher than that of low-altitude by 30.3% and 22.0%, with significant difference ($P < 0.05$); The correlation analysis showed that temperature ($R^2 = -0.745 3$) and rainfall ($R^2 = 0.741 7$) were the key ecological factors, the malonaldehyde (MDA, $R^2 = -0.911 8$) and soluble sugar (SS, $R^2 = -0.8831$) were the key physiological and biochemical factors, and the intercellular CO_2 (Ci, $R^2 = -0.739 3$) and photosynthetic rate (Pn, $R^2 = -0.733 2$) were the key photosynthetic characteristic factors influencing the yield of *A. sinensis*. **Conclusion** That is the benefit of the yield formation of *A. sinensis* by rising altitudes, reducing environmental temperature, increasing rainfall and photosynthetically active radiation, and reducing the contents of MDA, SS, and Ci.

Key words: *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels; altitude; yield; key ecological factor; key physiological and biochemical factors; key photosynthetic characteristic factor

产量是衡量作物生长发育健壮程度以及光合产物分配去向等的最终指标, 受各种环境因子影响。海拔梯度改变影响各种生态因子, 影响作物生理生化变化, 进而影响作物产量。

当归作为性喜冷凉药用植物之一, 对环境因子

要求非常严格, 高温导致当归不能越夏而死亡。近年来, 当归栽培方面的研究主要集中在连作障碍^[1-4]、早期抽薹^[5]和熟地育苗^[6]等方面, 而对当归生态适应性研究较少, 本实验旨在探索当归适宜海拔范围, 在当归道地产区岷县茶埠乡 2 300~2 800 m 海拔内

收稿日期: 2013-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31060182, 31070352); “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2011BAI05B02)

作者简介: 王惠珍, 女, 副教授, 博士, 主要从事药用植物栽培和生理生态方面的研究。Tel: (0931)8765393 E-mail: whz1974828@163.com

*通信作者 李应东, 男, 教授, 硕士生导师。Tel: (0931)8635068 E-mail: lyd412@163.com

进行当归生态适应性试验，通过测定产量指标来衡量当归在不同海拔梯度下生长适宜程度，并通过相关性分析，明确影响当归产量的关键生态因子、关键生理生化因子和关键光合参数，为阐明当归生态适应区域提供实践指标和理论参考。

1 材料

选用单根质量约 1 g、根长约 12 cm、分枝少、无腐烂、无虫蛀的甘肃岷县一年生种苗由定西旱农中心鉴定为当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels。均采用黑色农用塑料地膜覆盖移栽。

2 方法与结果

2.1 试验设计

试验采用单因素随机区组设计，以海拔梯度为试验因素，分别设在低海拔（2 360 m）、中海拔（2 570 m）和高海拔（2 760 m）3 个海拔梯度下进行，3 个重复，小区面积 200 m²。春小麦茬口，坡向一致，均半阴坡。栽植前施农家肥 45 000 kg/hm²，纯 N 90 kg/hm²、P₂O₅ 65 kg/hm²、K₂O 45 kg/hm²，作为基肥于栽植前分小区一次性翻入土壤，在当归整个生长期不再追肥；起垄覆膜，垄面宽 80 cm，垄间距 20 cm，按行株距 30 cm×25 cm 的栽植密度开穴移栽，每穴植入 2 株种苗后填实土壤防止空置现象发生，覆土，密度保持约 13 万株/hm²。出苗后分次间苗，防止早期抽薹后出现空穴。田间管理措施均一致，并及时清除田间的枯枝烂叶以防病虫害侵染。

2.2 指标的测定

2.2.1 产量的测定 于当归采收期每小区取 50 株进行产量测定，阴干法进行干燥。

2.2.2 生理生化指标测定 于 2010 年 7 月 10 日至 8 月 25 日分别 3 次采集当归倒数第三片叶片进行渗透调节物质和保护酶活性测定。超氧化物歧化酶（SOD）活性的测定参照 Rao 等^[7]方法，酶活性单位以每克鲜样品表示（U/g）；过氧化氢酶（CAT）活性的检测参照 Aebi 等^[8]的方法，以每分钟内 A₂₄₀ 值变化 0.1 为 1 个酶活性单位，用 U/(min·mg) 表示；过氧化物酶（POD）活性的检测参照 Rao 等^[7]的愈创木酚法，以每分钟 A 值变化值表示酶活性大小，即以 ΔA₄₇₀ min/g 表示。游离脯氨酸（Pro）的测定采用酸性茚三酮法，单位为 mg/g；可溶性糖量（SS）采用蒽酮比色法（mg/g）；丙二醛（MDA）量采用硫代巴比妥酸法，单位为 μmol/g 来表示。

2.2.3 光合参数测定 于 2010 年 8 月 15~17 日当

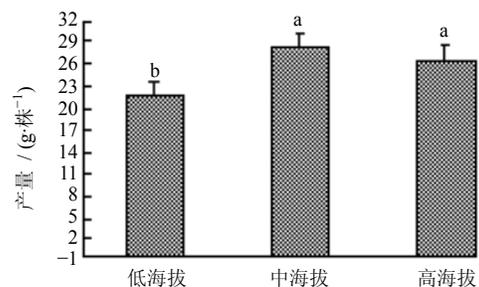
归根膨大期，用 Li-6400 便携式光合作用系统测定活体当归叶片的光合参数，每次随机选择 5 株健壮植株中部侧枝的中间成熟叶 5 片。每张叶片测定 3 次，取 5 片叶的平均值。

2.3 数据处理

数据采用 Excel 表格结合数据统计软件 SPSS16.0 进行整理和分析，不同处理相同指标进行 LSD_{0.05} 和 LSD_{0.01} 比较，Spearman 相关分析，用 SigmaPlot10.0 软件绘图。

2.4 海拔梯度对当归产量的调控

产量高低与干物质分配比例密不可分，干物质分配比例是随着生态因子变化而变化，高光强^[9-11]、低温^[12]促使光合产物地下分配运输；低温有利于根系生长和根中物质合成。从采收期当归不同海拔梯度间单株产量比较可以看出（图 1），中海拔和高海拔处理当归单株产量比低海拔处理分别高出 30.3%和 22.0%，差异达显著水平（P<0.05），此结果与海拔升高，光照增强、温度降低规律相一致。说明在试验设计范围内海拔升高有利于当归产量形成，所以在实践中应选择相对较高海拔进行当归栽植。这与在其他作物上的研究结果有所差异^[13-18]，也许是因为当归性喜冷凉环境条件所致。



不同字母表示差异显著 (P<0.05)

Different small letters mean significant difference (P<0.05)

图 1 收获期海拔处理对当归产量的影响

Fig.1 Effects of different altitudes in harvest time on yield of *A. sinensis*

2.5 影响当归产量的关键生态因子分析

对不同海拔生态因子与当归产量数据进行相关性分析表明（表 1、2），温度与当归产量呈显著负相关（R²=-0.745 3），说明高温使当归产量降低，降雨量与产量呈显著正相关（R²=0.741 7），说明降雨量增加使当归产量提高，其他指标与产量相关性不显著。因此，温度和降雨量是影响当归产量的关键

表 1 不同海拔生态因子情况

Table 1 Ecological factors at different altitudes

海拔	温度 / °C	光照时间 / h	降雨量 / mm	有机质变化 / (mg·kg ⁻¹)	全磷变化量 / (g·kg ⁻¹)	产量 / (g·株 ⁻¹)
低海拔	15.9	675.6	385.5	1.83	-0.070	21.8
中海拔	13.8	703.2	407.2	0.76	-0.336	28.4
高海拔	12.1	803.7	425.1	7.27	0.586	26.6

表 2 生态因子与当归产量的相关分析

Table 2 Correlation analysis on ecological factors and *A. sinensis* yield

生态因子	海拔	温度	光照时间	降雨量	有机质变化量	全磷变化量	产量
海拔	1.000						
温度	-0.998	1.000 0					
光照时数	0.950	-0.929 4	1.000 0				
降雨量	0.998	-0.999 9	0.931 3	1.000 0			
有机质变化量	0.779	-0.739 7	0.935 9	0.743 3	1.000 0		
全磷变化量	0.691	-0.646 1	0.882 2	0.650 2	0.991 5	1.000 0	
产量	0.703	-0.745 3*	0.446 5	0.741 7*	0.102 6	-0.027 4	1.000 0

*表示相关性显著相关 ($P < 0.05$), 表 5 同

*means significant correlation ($P < 0.05$), same as Table 5

生态因子。

2.6 影响当归产量的关键生理生化因子分析

对当归产量与生理生化因子相关分析, 从中可以看出, 生理生化因子均与产量呈负相关关系, 其中 MDA 与产量呈极显著负相关 ($R^2 = -0.911 8$), 可溶性糖与产量呈显著负相关 ($R^2 = -0.883 1$), 说明

MDA 和可溶性糖量降低有利于当归产量形成, 其他指标与产量均未达显著相关, 还显示 3 种保护酶中 SOD 活性与产量相关性最大, 说明降低 SOD 活性有利于当归产量形成。故 MDA 和可溶性糖量是影响当归产量的关键生理生化特性因子, 其次是 SOD 活性 (表 3)。

表 3 生理生化因子与当归产量的相关分析

Table 3 Correlation analysis on physiological and biochemical factors and *A. sinensis* yield

因子	Pro	SS	MDA	SOD	POD	CAT	产量
Pro	1.000 0						
SS	-0.198 2	1.000 0					
MDA	0.653 3	0.612 6	1.000 0				
SOD	-0.520 1	0.940 2	0.306 8	1.000 0			
POD	-0.691 9	0.844 8	0.094 5	0.976 5	1.000 0		
CAT	-0.713 7	0.828 0	0.063 9	0.969 5	0.999 5	1.000 0	
产量	-0.284 9	-0.883 1*	-0.911 8**	-0.670 6	-0.494 9	-0.468 1	1.000 0

*表示相关性显著相关 ($P < 0.05$), **表示相关性极显著 ($P < 0.01$)

*means significant correlation ($P < 0.05$); **means significant correlation ($P < 0.01$)

2.7 影响当归产量的关键光合参数因子分析

对净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、光合有效辐射 (PAR)、空气相对湿度 (RH)、叶面温度 (Ta)、大气 CO₂ 浓度 (CO₂)、叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b)、类胡萝卜素 (Car) 11 个光合参数因子与产量相关分析看出 (表 4), 光合参数与产量既

有负相关关系也有正相关关系, 其中 Ci 和 Pn 与产量相关性最大, 相关系数分别为 -0.739 3 和 -0.733 2, 其次是 RH 和 PAR, 为正相关关系, Gs 为负相关关系, 除 Ci 和 Pn 与产量相关性显著外, 其他均未达到显著水平。故 Ci 和 Pn 是影响当归产量的关键光合参数因子, 其次是 RH、Gs 和 PAR, 见表 5。

表4 不同海拔光合参数因子情况

Table 4 Photosynthesis factors and *A. sinensis* yield at different altitudes

海拔	Pn/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Tr/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Gs/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Ci/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	PAR/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	RH/%	Ta/°C	CO ₂ / ($\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Chl a/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Chl b/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Car/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	产量/ ($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)
低海拔	2.94	0.30	6.07	235.2	869.4	42.53	33.98	377.79	1.76	1.28	0.56	21.8
中海拔	2.65	0.34	5.75	217.2	969.2	48.66	31.85	389.91	1.90	1.55	0.48	28.4
高海拔	2.40	0.26	5.10	202.2	1199.6	58.84	23.20	420.00	3.00	2.25	0.25	26.6

表5 光合参数与产量的相关分析

Table 5 Correlation analysis on photosynthesis parameters and *A. sinensis* yield

因子	Pn	Tr	Gs	Ci	PAR	RH	Ta	CO ₂	Chl a	Chl b	Car	产量
Pn	1.000 0											
Tr	0.489 4	1.000 0										
Gs	0.972 7	0.678 5	1.000 0									
Ci	0.999 9	0.481 5	0.970 5	1.000 0								
PAR	-0.964 6	-0.7023	-0.999 5	-0.962 1	1.000 0							
RH	-0.982 9	-0.641 6	-0.998 8	-0.981 2	0.996 7	1.000 0						
Ta	0.929 2	0.777 2	0.989 6	0.925 8	-0.993 8	-0.981 3	1.000 0					
CO ₂	-0.960 0	-0.714 0	-0.998 8	-0.957 4	0.999 9	0.995 1	-0.995 5	1.000 0				
Chl a	-0.894 7	-0.827 4	-0.973 9	-0.890 6	0.980 9	0.961 6	-0.996 4	0.984 0	1.000 0			
Chl b	-0.957 3	-0.720 6	-0.998 3	-0.954 6	0.999 7	0.994 2	-0.996 4	0.999 9	0.985 6	1.000 0		
Car	0.950 8	0.735 6	0.996 7	0.947 9	-0.998 8	-0.991 6	0.998 0	-0.999 5	-0.989 1	-0.999 8	1.000 0	
产量	-0.733 2*	0.234 2	-0.555 3	-0.739 3*	0.527 7	0.595 5	-0.429 8	0.513 5	0.352 2	0.505 3	-0.486 3	1.000 0

3 讨论

3.1 适当升高海拔有利于当归产量形成

产量是衡量当归在海拔间适应程度的最终指标,当归生物量积累速率、地上和根中干物质积累等指标均为当归产量形成奠定基础。本研究结果得出,3个海拔处理当归产量依次为中海拔(28.4 g/株) > 高海拔(26.6 g/株) > 低海拔(21.8 g/株),低海拔处理分别比其他两个海拔处理低 22.6%和 20.8%,差异达显著水平($P < 0.05$),这与海拔对半夏^[17]产量的影响结果相一致。本研究还得出,低海拔处理总生物量虽然高于海拔 2 780 m 处理,但产量却没有相应地提高,笔者认为这主要是由于低海拔的高温使得呼吸消耗增加,且有利于同化物向地上分配而导致产量下降。

3.2 影响产量的关键因子分析

产量的形成受诸多因子的影响,尤其是影响光合作用的各因子和作物生物学特性是产量高低的关键。本研究结果表明,温度($R^2 = -0.745 3$)和降雨量($R^2 = 0.741 7$)是影响产量的关键生态因子,

相关性达显著水平($P < 0.05$);膜质过氧化产物MDA和可溶性糖是影响产量的关键生理生化因子,相关系数分别为-0.911 8和-0.883 1,相关性显著($P < 0.05$);光合特性参数Ci和Pn与产量相关系数分别为-0.739 3和-0.733 2,达显著相关关系,其次是RH和PAR,为正相关关系,但相关性不显著。因此,降低温度、增加降雨量和湿度、降低MDA和可溶性糖量、降低胞间CO₂浓度以及增加有效光辐射均有利于当归产量形成。

参考文献

- [1] 张新慧,张恩和.不同茬口对当归根际微生物数量及产量的影响[J].中草药,2008,39(2):267-269.
- [2] 张新慧,张恩和,王惠珍.连作对当归药材挥发油含量的影响[J].天然产物研究与开发,2009(21):274-277.
- [3] 张新慧,张恩和,王惠珍.连作对当归生长的障碍效应及机制研究[J].中国中药杂志,2010,35(10):1231-1234.
- [4] 张新慧,张恩和,郎多勇,等.不同茬口对当归根际土壤酶活性及其产量和品质的影响[J].中草药,2011,

- 42(11): 2322-2325.
- [5] 邱黛玉, 蔺海明, 方子森, 等. 种苗大小对当归成药期早期抽薹和生理变化的影响 [J]. 草业学报, 2010, 19(6): 109-114.
- [6] 赵庆芳, 马世荣, 马瑞君, 等. 当归熟地育苗试验研究 [J]. 中草药, 2005, 36(5): 759-761.
- [7] Rao M V, Pal I C, Ormrod D P. Ultraviolet B and ozone induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana* [J]. *Plant Physiol*, 1996, 110(1): 125-136.
- [8] Aebi H. Catalase *in vitro* [J]. *Methods Enzymol*, 1984, 105: 121-126.
- [9] 陈亚军, 张教林, 曹坤芳. 两种热带木质藤本幼苗形态、生长和光合能力对光强和养分的响应 [J]. 植物学通报, 2008, 25: 185-194.
- [10] 孙晓方, 何家庆, 黄训端, 等. 不同光强对加拿大一枝黄花生长和叶绿素荧光的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 752-758.
- [11] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, *et al.* Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine [J]. *Environ Exp Bot*, 2007, 59: 139-149.
- [12] Andrews M, Raven J A, Sprent J I. Environmental effects on dry matter partitioning between shoot and root of crop plants: relations with growth and shoot protein concentration [J]. *Ann Appl Biol*, 2001, 138: 57-68.
- [13] 冯学民, 蔡德利. 土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 489-491.
- [14] 陈 翠, 袁理春, 杨丽英, 等. 不同海拔、土壤类型及肥力对云南重楼产量和质量的影响研究 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(5): 1388-1391.
- [15] 李明海, 任远伦, 詹蓉晖, 等. 不同海拔高度和土壤类型对烟叶产量质量的影响 [J]. 中国烟草科学, 1997 (3): 27-30.
- [16] 赵广琦, 杜增平. 不同海拔高度与不同株龄和月份对黄连质量和产量的影响 [J]. 中草药, 2002, 33(12): 1119-1121.
- [17] 贺瑞坤, 彭慧蓉, 陈 训. 海拔高度对贵州花江峡谷顶坛花椒产量与品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2294-2295.
- [18] 张 明, 刘俊杰, 张铭彩, 等. 半夏不同海拔高度种植的研究 [J]. 中国现代中药, 2010, 12(2): 29-30.