

不同海拔云南黄连生物量和主要有效成分变化*

张 霁^{1,2} 蔡传涛^{1*,} 蔡志全¹ 刘贵周¹ 罗 媛¹ 杨志雄³(¹中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ²中国科学院研究生院, 北京 100049; ³云南福维临生物药业有限公司, 云南六库 673100)

摘 要 研究了不同海拔(2 100~2 700 m)下,野生和人工栽培云南黄连的生物量、主要有效成分含量及产量。结果表明:野生云南黄连根茎和根生物量沿海拔梯度呈上升趋势,但无显著性差异($P > 0.05$);人工栽培云南黄连根茎生物量平均值在海拔2 600 m和2 700 m处分别为 $87.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $97.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,显著高于海拔2 300 m处($34.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P < 0.05$),且海拔2 300、2 600和2 700 m的人工栽培云南黄连根茎和根生物量均大于野生云南黄连,但无显著性差异($P > 0.05$)。野生云南黄连的根茎和根生物量均与全株生物量呈显著正相关。野生云南黄连根茎和根小檗碱含量在海拔2 700 m处最高,分别为4.60%和1.93%;根茎巴马汀和药根碱含量、根药根碱含量在海拔2 600~2 700 m处最高;根巴马汀含量在2 300 m处最高。人工云南黄连根茎和根小檗碱含量在海拔2 600 m处最高,分别为4.41%和1.90%;根茎巴马汀含量、根小檗碱、巴马汀和药根碱含量在海拔2 600~2 700 m处最高;根茎药根碱含量在海拔2 300 m处最高。海拔2 600~2 700 m处野生云南黄连根茎和根中各有效成分产量显著高于海拔2 100和2 300 m处($P < 0.05$)。野生云南黄连分株的根茎生物量、根生物量、叶生物量、总生物量、高度和冠幅沿海拔梯度呈先升后降趋势。增大种植密度和加强人工管理可以提高云南黄连生物量和主要有效成分产量。

关键词 云南黄连 生物量 有效成分**文章编号** 1001-9332(2008)07-1455-07 **中图分类号** R282.2 **文献标识码** A

Variation patterns of *Coptis teeta* biomass and its major active compounds along an altitude gradient. ZHANG Ji^{1,2}, CAI Chuan-tao¹, CAI Zhi-quan¹, LIU Gui-zhou¹, LUO Yuan¹, YANG Zhi-xiong³ (¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ³Fuwelin Biological Pharmacy Co. Ltd., Liuku 673100 Yunnan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(7): 1455-1461.

Abstract An investigation was made on the biomass and major active compounds of wild and cultivated *Coptis teeta* along an altitude gradient in Nujiang of Yunnan. The results showed that the rhizome and root biomass of wild *C. teeta* increased from the altitude 2 100 m to 2 700 m, but the difference was not significant. The rhizome biomass of cultivated *C. teeta* was $87.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ at 2 600 m and $97.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ at 2 700 m, being much higher than $34.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ at 2 300 m ($P < 0.05$). At the same altitudes (2 300 m, 2 600 m, and 2 700 m), cultivated *C. teeta* had higher rhizome and root biomass than wild *C. teeta*, but the difference was not significant. There was a significant positive correlation between the rhizome and root biomass and the whole plant biomass of wild *C. teeta*. Wild *C. teeta* had the highest content of berberine in rhizome (4.60%) and root (1.93%) at 2 700 m, plicatamine in rhizome and jatrorrhizine in rhizome and root at 2 600-2 700 m, and plicatamine in root at 2 300 m; while cultivated *C. teeta* had the highest content of berberine in rhizome (4.41%) and root (1.90%) at 2 600 m, plicatamine in rhizome and root and berberine and jatrorrhizine in root at 2 600-2 700 m, and jatrorrhizine in rhizome at 2 300 m. The content of major active compounds in wild *C. teeta* rhizome and root were significantly higher at 2 600 m and 2 700 m than at 2 100 m and 2 300 m ($P < 0.05$), and the rhizome biomass root

* 国家财政部资助国家农业综合开发重点产业化项目、云南省省院省校科技合作计划项目(2006YX04)和中国科学院研究生科学与社会实践资助专项。

** 通讯作者。E-mail: caic@xtbg.ac.cn

2007-12-20收稿, 2008-05-02接受。

biomass, leaf biomass, total biomass, height and canopy diameter of wild *C. teeta* ran et increased first and decreased then from the altitude 2 100 m to 2 700 m. Increasing planting density and enhancing artificial management could improve the biomass of *C. teeta* and its major active compounds concentrations.

Key words *Coptis teeta*; biomass; active compound

云南黄连 (*Coptis teeta* Wall.) 是毛茛科黄连属的多年生草本植物, 为中药黄连的原植物之一, 分布于缅甸、印度和我国云南省怒江的贡山、福贡、泸水、保山市的腾冲, 西藏自治区的墨脱等地^[1-2]. 其根茎商品名为云连, 主要有效成分为小檗碱、药根碱和巴马汀等生物碱, 具有泻火、燥湿、解毒、杀虫的功能, 其干燥根茎的小檗碱和总生物碱含量为黄连属植物最高^[3-4]. 研究表明, 小檗碱具有降胆固醇和选择性抑制肺肿瘤等活性^[5-6]. 云南黄连是怒江傈僳族自治州最重要的药材之一, 已有 100 多年的栽培历史, 被当地各少数民族用来治疗痢疾、目赤等病痛和换取生产、生活物资^[7-8]. 云南黄连的根茎在印度还用于治疗疟疾^[9]. 由于生长慢, 采挖过度, 本种的野生居群已处于灭绝的边缘, 在我国被列为二级濒危保护植物, 渐危种^[10]. 目前自然条件下云南黄连的生产量远远不能满足市场需求, 因此, 进一步加强云南黄连的人工栽培势在必行.

云南黄连以地下营养繁殖体 (称为“觅养枝”) 行无性繁殖为主要繁殖方式. 多年生草本植物根生物量的分配与环境密切相关^[11]. 无性系植物可以通过生物量分配和形态、生理变化适应空间异质的环境^[12-14], 而且山地不同海拔梯度水热垂直变化会影响植物种群的生物量^[15-16]. 目前, 关于不同海拔云南黄连生物量和主要有效成分变化的研究还未见报道, 本文分析了不同海拔高度野生和人工栽培云南黄连生物量和主要有效成分的变化, 旨在为提高云南黄连产量和人工规模化种植提供理论依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究地位于云南省怒江傈僳族自治州的福贡县匹河、上帕和鹿马登 3 个乡镇, 属于高黎贡山东坡中部地区. 该地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,046^{\circ}\text{C} \sim 3\,740^{\circ}\text{C}$, 年均气温 $7.5^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$, 最热月 (7 月) 平均气温 $13^{\circ}\text{C} \sim 19^{\circ}\text{C}$, 最冷月 (1 月) 平均气温 $0^{\circ}\text{C} \sim 6^{\circ}\text{C}$; 年降水量 $1\,600 \sim 2\,300\text{ mm}$, 雨季为 2—11 月^[17]. 云南黄连分布在海拔 $1\,900 \sim 3\,000\text{ m}$ 的中山湿性常绿阔叶林和与之相接的铁杉针阔混交林下, 坡度在 20°

— 40° . 土壤为自然肥力高、理化性能好、酸性的黄棕壤、棕壤和暗棕壤^[18]. 在分布区域内, 云南黄连主要有野生和人工栽培 2 种模式. 野生云南黄连仅采收时除草, 其他种的草本植物盖度在 70% 以上. 人工栽培云南黄连 1 年除草 3 次以上, 除乔木和灌木外, 其他草本植物较少, 盖度在 30% 以下. 由于云南黄连是当地主要的经济收入之一, 3 年生以上云南黄连分株绝大多数已被采收, 所以研究样地内多以 3 年及 3 年以下生分株为主.

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 在海拔 $2\,100 \sim 2\,700\text{ m}$ 范围内, 共设置 8 个样地, 除样地 1 由于云南黄连分布面积较小, 随机设置 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方外, 其余样地均随机设置 6 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方 (表 1). 2007 年 4 月 18—27 日, 采用样方收获法采尽样方内所有的云南黄连, 去掉根茎和根上的泥土, 每样方内选取 5~8 株 3 年生云南黄连分株, 每样地共选取 42 株 (样地 1 选取 21 株), 记录叶冠幅和叶高度, 然后带回实验室.

1.2.2 生物量测定 将分株各构件在 80°C 烘箱条件下烘干至恒量, 用电子天平分别称干质量, 得到分株各构件生物量. 将样方内其余分株分出根茎、根、叶和果实, 在 80°C 烘箱中烘干至恒量, 以样方为单位分别称量干质量, 然后将各样方内单独称取生物量的分株和其余分株的数据相加, 得到每个样方各构件生物量. 全株生物量 = 根茎生物量 + 根生物量 + 叶生物量 + 果实生物量; 有效部位 = 根茎生物量 + 根生物量; 有效部位生物量比 = (根茎生物量 + 根生物量) / 全株生物量. 分株总生物量 = 分株根茎生物量 + 分株根生物量 + 分株叶生物量 + 分株果实生物量.

1.2.3 土壤营养测定 采用对角线法取土样, 每个样点取样深度为 10 cm , 然后将每个样地内的土样分别混为一个, 最后按照四分法将重约 1 kg 的土样带回实验室, 采用常规方法测定供试土样的 pH、有机质、全氮、全磷、全钾和速效氮、速效磷、速效钾含量. 8 个样地土壤 pH 值均呈酸性, 土壤各营养成分含量较高, 其中有机质、全氮、全磷含量均高于黄连

表 1 样地概况

Tab 1 Description of plots

样地号 PlotNo	地点 Location	海拔 Altitude (m)	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	郁闭度 Canopy density (%)	栽培技术 Cultivation technique	密度 Density (plants·m ⁻²)
1	匹河 Pihé	2 100	98°50.335′	26°31.809′	60~70	野生 Wild	19±4a
2	匹河 Pihé	2 300	98°50.194′	26°31.684′	70~80	野生 Wild	27±11ab
3	匹河 Pihé	2 300	98°50.202′	26°31.685′	50~70	人工栽培 Cultivated	59±37ab
4	上帕 Shangpa	2 400	98°50.481′	26°55.109′	70~80	野生 Wild	34±9ab
5	上帕 Shangpa	2 600	98°50.296′	26°55.005′	60~80	野生 Wild	77±50ab
6	匹河 Pihé	2 600	98°50.291′	26°31.401′	60~70	人工栽培 Cultivated	125±74c
7	鹿马登 Lumadeng	2 700	98°50.335′	27°02.993′	60~80	野生 Wild	99±39bc
8	鹿马登 Lumadeng	2 700	98°50.651′	27°03.220′	60~80	人工栽培 Cultivated	128±36c

同列数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) The data with different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level 下同 The same below.

表 2 样地土壤 pH 值及营养含量

Tab 2 pH and soil nutrient content in different plots

样地号 PlotNo	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	有效氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	有效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
1	4.32	142	10.67	1.189	21.06	748	9.20	199
2	4.11	321	15.50	0.798	8.99	857	24.05	382
3	4.04	196	12.40	0.989	13.16	798	17.34	271
4	4.70	181	12.39	1.080	20.57	961	15.76	523
5	4.31	297	18.28	0.992	6.21	1143	30.27	418
6	4.15	256	13.67	0.756	11.56	973	40.42	356
7	3.78	224	12.12	0.657	18.75	888	42.16	328
8	3.86	329	20.45	0.945	6.50	1270	60.44	510

(*Coptis chinensis* French) 生产质量管理规范化基地^[19] (表 2)。

1.2.4 主要有效成分含量测定 仪器与试剂: 美国 Waters 高效液相色谱仪 (配 600 泵、717 自动进样器、2487 紫外检测器), 色谱柱用十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂 (Kromasil ODS 250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相为 0.05 mol·L⁻¹ KH₂PO₄ (含 0.2% 三乙胺, 0.1% 庚烷磺酸钠, 用 H₃PO₄ 调 pH 值至 3.0) / 乙腈 = 60/40 (V/V), 检测波长为 345 nm, 流速 1.0 mL·min⁻¹, 柱温为 30 ℃; 盐酸小檗碱、盐酸巴马汀、盐酸药根碱对照品由中国药品生物制品检定所提供。流动相配制用乙腈为色谱纯, 水为超纯水, 其余溶剂均为分析纯。

对照溶液的制备: 精密称取盐酸小檗碱、盐酸巴马汀、盐酸药根碱对照品, 用甲醇配成含有 0.22 mg·mL⁻¹ 盐酸小檗碱、1.66 μg·mL⁻¹ 盐酸巴马汀和 0.08 mg·mL⁻¹ 盐酸药根碱的混合对照品溶液。

样品的制备与测定: 精密称取供试材料的根茎、根干燥粉末样品各 0.2 g 分别加入 25 mL 甲醇, 称量, 超声提取 40 min, 放冷, 再称量, 用甲醇补足减少的质量, 摇匀, 用微孔滤膜 (0.45 μm) 滤过, 取续滤液为供试品溶液, 进样 10 μL 按上述分析条件测定。

1.3 数据处理

利用 SPSS 13.0 软件对相关数据进行单因素方差分析, 并用 Tukey 法进行多重比较, 用 SigmaPlot 10.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同海拔高度云南黄连生物量变化

由图 1 可以看出, 在海拔 2 100~2 700 m 范围内, 野生和人工栽培云南黄连根茎生物量沿海拔梯度呈上升趋势, 其中海拔 2 600 m 和 2 700 m 处人工栽培云南黄连根茎生物量平均值分别为 87.5 kg·hm⁻² 和 97.0 kg·hm⁻², 显著高于海拔 2 300 m 处的生物量平均值 (34.8 kg·hm⁻²)。3 个海拔高度 (2 300 m、2 600 m 和 2 700 m) 下人工栽培云南黄连根茎和根生物量平均值均大于野生云南黄连, 但无显著性差异 ($P > 0.05$)。野生云南黄连全株生物量平均值在海拔 2 700 m 处最高, 为 344.7 kg·hm⁻², 显著高于海拔 2 100 m 处的生物量平均值 (66.4 kg·hm⁻²); 人工栽培的云南黄连全株生物量平均值在海拔 2 600 m 和 2 700 m 处分别为 462 kg·hm⁻² 和 417.3 kg·hm⁻², 显著高于海拔 2 300 m 处的生物量平均值 256.0 kg·hm⁻²。海拔 2 600 m 和 2 700 m

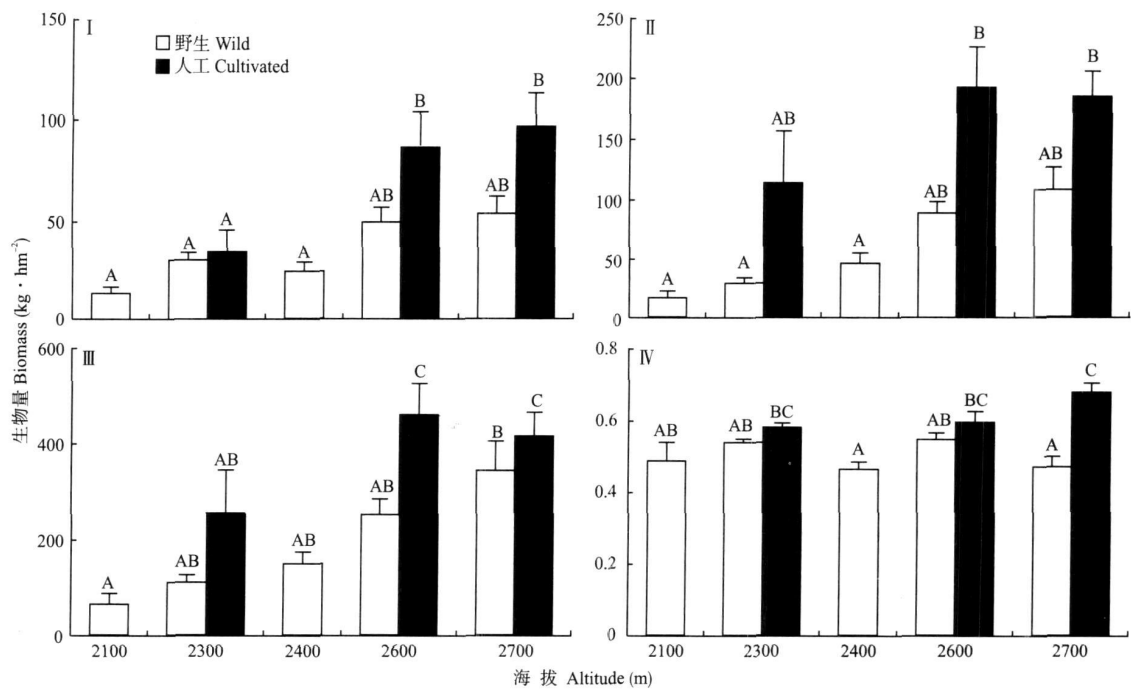


图 1 不同海拔高度野生和人工栽培云南黄连根茎、根及全株生物量
Fig 1 Biomasses of rhizome, root and whole plant for wild and cultivated *C. teeta* at different altitudes
I: 根茎 Rhizome II: 根 Root III: 全株 Whole plant IV: (根茎 + 根) / 全株 (Rhizome + Root) / Whole plant 不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) The data with different letters meant significant difference at 0.05 level 下同 The same below.

处的人工栽培云南黄连全株生物量平均值显著高于同海拔野生云南黄连。野生和人工栽培云南黄连的有效部位生物量比 [(根茎生物量 + 根生物量) / 全株生物量] 沿海拔梯度均无显著性变化。

野生云南黄连根茎及根生物量随全株生物量的增加而增加, 前二者均与后者呈显著正相关 (图 2)。

2.2 不同海拔高度云南黄连有效成分含量及产量变化

在海拔 2 100~ 2 700 m 范围内, 野生云南黄连根茎小檗碱和巴马汀含量随海拔升高呈上升趋势, 在 2 700 m 分别为 4.60% 和 0.13%, 根茎药根碱含

量随海拔升高先升后降, 在 2 600 m 达到最高, 为 0.18%; 人工云南黄连根茎小檗碱和巴马汀含量随海拔升高先升后降, 在 2 600 m 达到最高, 分别为 4.41% 和 0.11%, 根茎药根碱含量随海拔升高有下降趋势 (图 3I)。野生云南黄连根小檗碱含量在 2 700 m 最高, 为 1.93%, 根巴马汀含量在 2 300 m 最高, 为 0.04%, 根药根碱含量在 2 600 m 最高, 为 0.09%; 人工云南黄连根小檗碱含量随海拔升高先升后降, 在 2 600 m 最高, 为 1.90%, 根巴马汀和药根碱含量随海拔升高有上升趋势, 在海拔 2 700 m 处分别为 0.04% 和 0.10% (图 3II)。

由图 4 可以看出, 在海拔 2 600 m 和 2 700 m 处, 野生云南黄连根茎小檗碱产量平均值分别为 2.06 和 2.47 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 显著高于海拔 2 100 m 处, 根小檗碱产量平均值分别为 1.41 和 2.09 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 均显著高于海拔 2 100 m 和 2 300 m 处, 有效部位小檗碱产量平均值分别为 3.46 和 4.56 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 均显著高于海拔 2 100 m 和 2 300 m 处; 野生云南黄连根茎和有效部位巴马汀产量均显著高于海拔 2 100 m、2 300 m 和 2 400 m 处 ($P < 0.05$), 根和有效部位巴马汀产量显著高于海拔 2 100 m 处; 野生云南黄连根茎、根和有效部位药根碱产量均显著高于海拔 2 100 m、2 300 m 和 2 400 m 处。

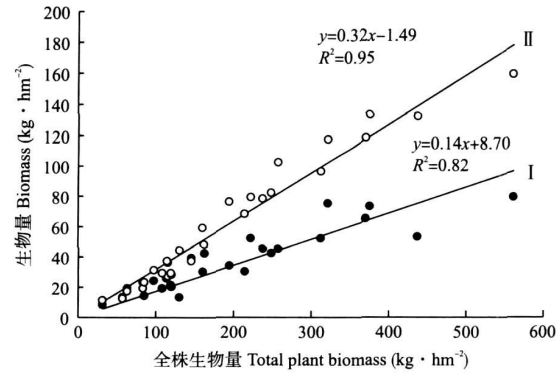


图 2 野生云南黄连根茎及根生物量与全株生物量的关系
Fig 2 Relationship between rhizome biomass, root biomass and whole plant biomass of wild *C. teeta*.

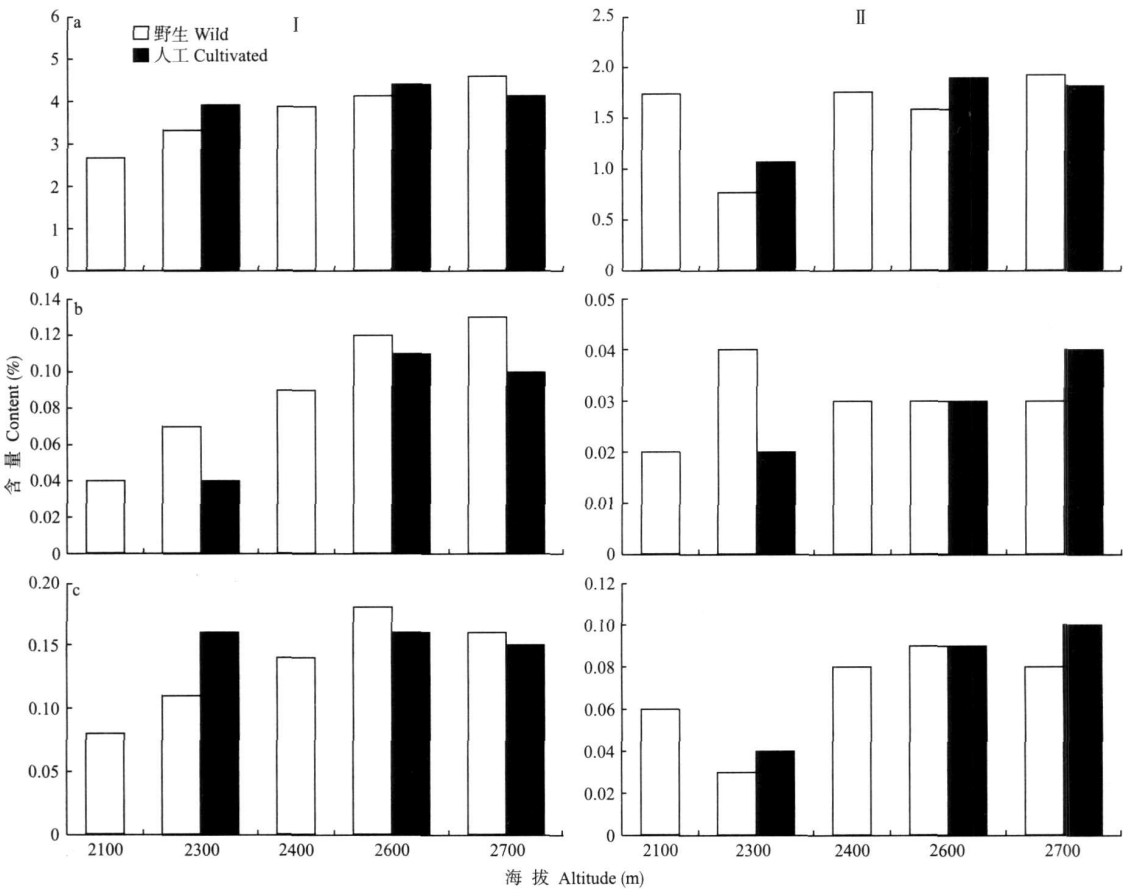


图3 不同海拔高度云南黄连根茎及根主要有效成分含量
Fig.3 Major active compounds content in rhizome and root of *C. teeta* at different altitudes.
a)小檗碱 Berberine; b)巴马汀 Plamatine; c)药根碱 Jatrorrhizine. 下同 The same below.

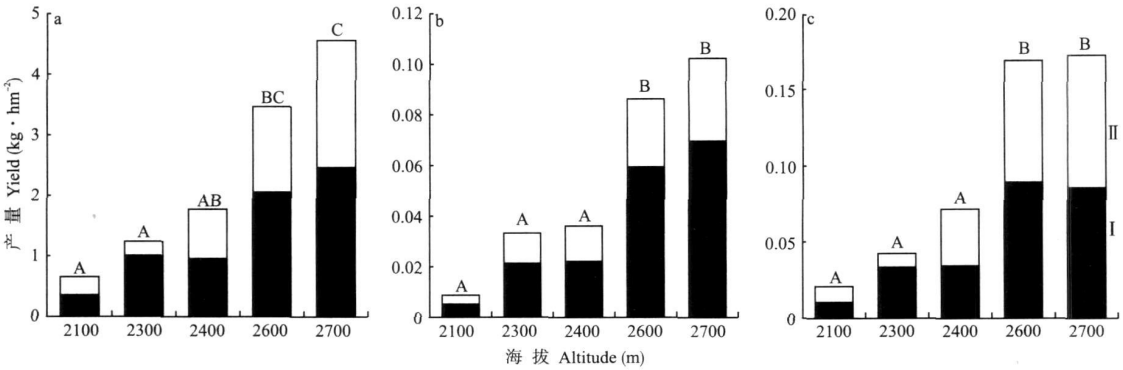


图4 不同海拔高度野生云南黄连根茎及根主要有效成分产量
Fig.4 Major active compounds yields in rhizome and root of wild *C. teeta* at different altitudes.

2.3 不同海拔高度云南黄连分株生物量变化

在海拔 2 100~ 2 700 m 范围内, 野生云南黄连分株根茎、根、叶、总生物量、高度和冠幅沿海拔梯度的上升先升后降, 其中, 海拔 2 300 m 处野生云南黄连分株根茎生物量平均值显著高于海拔 2 100 和 2 700 m 处; 海拔 2 400 和 2 600 m 处分株根生物量平均值显著高于海拔 2 100 和 2 300 m 处; 海拔

2 400 m 处分株叶生物量平均值显著高于其他海拔处; 海拔 2 400 和 2 600 m 处分株总生物量平均值显著高于海拔 2 100 m 处; 海拔 2 100 和 2 400 m 处分株高度平均值显著高于海拔 2 600 和 2 700 m 处; 海拔 2 400 m 处分株冠幅平均值显著高于其他海拔处 ($P < 0.05$). 而不同海拔的云南黄连分株果实生物量平均值无显著性差异 ($P > 0.05$) (表 3).

表 3 不同海拔高度野生云南黄连分株的数量特性

Tab 3 Quantitative characteristic of ramet of wild *C. teeta* at different altitudes (mean ± SD)

海拔高度 Altitude (m)	根茎生物量 Rhizome biomass (mg)	根生物量 Root biomass (mg)	叶生物量 Leaf biomass (mg)	果实生物量 Fruit biomass (mg)	总生物量 Total biomass (mg)	高度 Height (cm)	冠幅 Canopy diameter (cm)
2 100	71.99±56.09a	79.61±53.04a	258.54±193.76a	108.30±61.05a	425.62±293.65a	14.3±5.1b	12.3±4.2a
2 300	151.68±80.54c	144.35±100.83ab	242.98±156.42a	86.71±34.16a	569.97±306.66ab	12.6±3.8ab	12.7±4.0a
2 400	132.32±57.29bc	231.15±149.91c	422.37±204.01b	114.43±61.09a	829.44±410.16c	14.5±3.0b	15.6±3.9b
2 600	122.23±67.50bc	222.32±111.08c	268.18±117.08a	104.80±57.78a	670.12±306.30bc	11.8±2.5a	13.1±3.1a
2 700	99.89±56.17ab	159.57±95.90bc	256.61±115.19a	90.11±37.64a	565.42±226.03ab	11.9±3.1a	12.7±3.2a

3 讨 论

3.1 海拔高度对云南黄连生物量的影响

在海拔 2 100~ 2 700 m 范围内,野生和人工栽培云南黄连根茎、根和全株生物量随海拔梯度上升有增大趋势,反映了种群对环境的响应.随着海拔增高,高黎贡山东部地区气温降低,湿度增大^[17].云南黄连受限于山区气候垂直带,只分布在狭小的 2 100~ 3 200 m 海拔范围内^[7].而草本植物的物种丰富度和物种密度沿海拔梯度也发生改变,在海拔 2 000 m 以上,随海拔升高呈下降趋势^[20].沿海拔梯度上升,其他草本植物与云南黄连的竞争力越来越小,分布格局也发生明显变化,这些可能是云南黄连生物量及种群密度呈现随海拔上升而增大的原因.赵广琦等^[21]对云南黄连同属植物黄连生物量的研究表明,低海拔更利于黄连生长.而本研究结果表明,高海拔地区更适宜云南黄连的生长,说明云南黄连与黄连具有不同的生物学特性和对环境的适应性.所以在进行云南黄连人工规模化种植时,应考虑在高海拔地区(2 400~ 2 700 m)建立种植基地.

野生云南黄连根茎和根生物量均与全株生物量呈显著正相关,表明不同海拔高度的云南黄连根茎和根的生长能保持稳定的相对生长速率,说明云南黄连地下构件生物量的积累具有协调性和稳定性.

无性系植物分株具有响应外界环境变化的可塑性^[22].野生云南黄连分株的各构件生物量、总生物量、高度和冠幅沿海拔梯度均呈现先升后降的变化,说明云南黄连分株具有对不同海拔资源获取的调整能力.由于种群密度增加,种内竞争加剧,使得海拔 2 600 m 和 2 700 m 处生长的野生云南黄连分株根茎和根生物量均低于海拔 2 400 m 处.

3.2 海拔高度对云南黄连主要有效成分含量及产量的影响

药用植物有效成分多为植物的次生代谢物,其在植物体内的积累在很大程度上受生长环境、气候、土壤等因素的直接或间接影响^[23-24].不同海拔高度

的土壤、光照、温度和湿度等环境因素的综合作用不同,导致野生云南黄连根茎和根中主要有效成分含量沿海拔梯度发生变化.本研究中,云南黄连根的各主要有效成分沿海拔梯度变化的规律性不是很明显,可能与局部地区的土壤和小气候等因素有关.有研究表明,通过整地和施肥等人工管理措施可以提高药用植物有效成分产量^[25].但是究竟哪些环境因素是影响云南黄连有效成分含量高低的主导因子和限制因子,还有待深入研究.

以往云南黄连都是以根茎入药,而根中有效成分小檗碱含量由于低于药典规定而不能直接入药^[2].本研究对不同海拔高度云南黄连根茎及根有效成分产量变化的分析发现,云南黄连根生物量较高,根小檗碱的单位产量接近于根茎.因此建议将云南黄连的根作为提取小檗碱的原料来加以利用.

3.3 栽培技术对云南黄连生物量的影响

在 2 300、2 600 和 2 700 m 3 个海拔高度下,人工栽培云南黄连的密度、根茎及根生物量均大于相同海拔的野生云南黄连,说明人工管理可以增大云南黄连的种群密度,提高云南黄连的根茎和全株生物量.关于云南黄连的种群密度对其生长过程中药用部位生物量的影响,有待进一步研究.

参考文献

[1] Wu Z-Y (吴征镒). *Fibra Yunnanica*. Tomus 11. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese)

[2] Committee of Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典委员会). *Pharmacopoeia of the People's Republic of China Vol I*. Beijing: Chemical Industry Press, 2005 (in Chinese)

[3] Jiangsu New Medical College (江苏新医学院). *Dictionary of Chinese Materia Medica*. Shanghai: Shanghai People's Press, 1977 (in Chinese)

[4] Fang X-P (方忻平), Wang T-Z (王天志), Zhang H (张浩), et al. Study on alkaloids in rhizome, root and leaf of *Coptis*. *Journal of Chinese Medicinal Materials* (中药材), 1989, 12(3): 33-35 (in Chinese)

[5] Maung TW. Berberine as a selective lung cancer agent. *United States*, 20070298132, 2007-12-27

- [6] Kong W-J (孔维佳). New Application of Berberine Lipids Lowering Effect and Molecular Mechanism. Beijing Chinese Academy of Medical Sciences 2004 56-60 (in Chinese)
- [7] Huang J (黄 骥), Long G-L (龙春林). Traditional cultivation of *Coptis teeta* and its values in biodiversity conservation. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2006 14(1): 79-86 (in Chinese)
- [8] Huang J Long CL. *Coptis teeta*-based agroforestry system and its conservation potential: A case study from northwest Yunnan. *Ambio* 2007 36: 343-349
- [9] Bora U, Sahu A, Sakti AP, et al. Medicinal plants used by the people of northeast India for curing malaria. *Phytotherapy Research* 2007 21: 800-804
- [10] Fu L-G (傅立国). China Plant Red Book- Rare and Endangered Plant Species Vol. I Beijing Science Press 1992 (in Chinese)
- [11] Geng YP, Pan XY, Xu CY, et al. Plasticity and ontogenetic drift of biomass allocation in response to above- and below-ground resource availabilities in perennial herbs: A case study of *Alternanthera philaxeroides*. *Ecological Research* 2007 22: 255-260
- [12] Roiloa SR, Albert P, Tharayil N. Greater capacity for division of labour in clones of *Fragaria chiloensis* from patchier habitats. *Journal of Ecology* 2007 95: 397-405
- [13] Han Z-M (韩忠明), Han M (韩 梅), Wu J-S (吴劲松), et al. Modules biomass structure and growth pattern of *Acanthopanax senticosus* population in different habitats. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006 17(7): 1164-1168 (in Chinese)
- [14] Weiner J. Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 2004 6: 207-215
- [15] Zhang W-H (张文辉), Li J-X (李景侠), Li H (李红), et al. Analysis on age structure and dynamics of *Kindonia uniflora* populations. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004 15(4): 561-565 (in Chinese)
- [16] Li K-H (李凯辉), Hu Y-K (胡玉昆), Wang X (王鑫), et al. Relationships between aboveground biomass and environmental factors along an altitude gradient of alpine grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007 18(9): 2019-2024 (in Chinese)
- [17] Huang J (黄 骥), Pei S-J (裴盛基), Zhang M-Y (张明宇), et al. Studies on biological characteristics, ecological habit & geographic distribution of *Coptis teeta*. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 2004 26(3): 255-266 (in Chinese)
- [18] Li H (李 恒), Guo H-J (郭辉军), Dao Z-L (刀志灵). Flora of Gaoligong Mountains. Beijing Science Press 2000 (in Chinese)
- [19] Chen S-J (陈仕江), Zhong G-Y (钟国跃), Zhang H (张 浩), et al. Preliminary studies on the nutrient characters of different kinds of Chinese goldthread soil. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 2005 30(15): 1151-1153 (in Chinese)
- [20] Wang Z-H (王志恒), Chen A-P (陈安平), Piao S-L (朴世龙), et al. Pattern of species richness along an altitudinal gradient on Gaoligong Mountains. *Southwest China Biodiversity Science* (生物多样性), 2004 12(1): 82-88 (in Chinese)
- [21] Zhao G-Q (赵广琦), Du Z-P (杜增平). Effect on quality and yield of *Coptis chinensis* with its different age and month at different altitude. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2002 33(12): 1119-1121 (in Chinese)
- [22] Luo X-G (罗学刚), Dong M (董 鸣). Architectural plasticity of the stoloniferous herb *Duchesnea indica* in response to different elevation. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002 13(4): 399-402 (in Chinese)
- [23] Dong J-E (董娟娥), Liang Z-S (梁宗锁), Wei Q (尉芹), et al. Effective constituents contents in indigowoad roots and leaves from different regions. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006 17(9): 1613-1618 (in Chinese)
- [24] Chen S-L (陈士林), Suo F-M (索风梅), Han J-P (韩建萍), et al. Analysis on ecological suitability and regionalization of traditional Chinese medicinal materials. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2007 38(4): 481-487 (in Chinese)
- [25] He B-H (何丙辉), Zhong Z-C (钟章成). Effect of soil preparation and fertilization on foliage and shoot growth of *Ginkgo biloba* and its medicine content. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004 15(6): 979-982 (in Chinese)

作者简介 张 霁,男,1982年生,硕士研究生.主要从事药用植物栽培研究. E-mail: zhang@xtbg.ac.cn

责任编辑 李凤琴