

# 云南金荞麦野生资源考察及遗传多样性分析

程 成<sup>1,2</sup>, 张凯旋<sup>2</sup>, 唐 宇<sup>3</sup>, 邵继荣<sup>4</sup>, 严明理<sup>1</sup>, 周美亮<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 湖南科技大学生命科学学院, 湘潭 411201; <sup>2</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;

<sup>3</sup> 四川旅游学院食品学院, 成都 610100; <sup>4</sup> 四川农业大学生命科学学院, 雅安 625001)

**摘要:** 金荞麦作为蓼科多年生草本植物, 因其根茎富含大量黄酮类物质而具有极高的药用价值。野生金荞麦在我国分布极其广泛, 尤其是云贵川等西南地区。野生荞麦资源考察组在云南进行历时 20 d 的考察, 在丽江、大理、昆明等地采集到 14 份不同地区的野生金荞麦资源。考察过程中发现, 野生金荞麦在植株及果实形态上均存在一定的差异, 与其所处的地理环境、海拔、气候条件相关。利用分光光度法和高效液相色谱(HPLC)分别测量采集的块状茎中的总黄酮及黄酮类物质芦丁、槲皮素含量, 发现不同地区的野生金荞麦块状茎之间黄酮类物质的含量存在着很大的差异。使用 ITS、*matK* 分子标记手段, 进行遗传多样性和亲缘关系分析, 发现其分类与地区海拔具有较为明显的关系。

**关键词:** 金荞麦; 资源考察; 云南; 黄酮类; 遗传多样性

## Investigation on Wild *Fagopyrum cymosum* Resources in Yunnan and Analysis of Genetic Diversity

CHENG Cheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Kai-xuan<sup>2</sup>, TANG Yu<sup>3</sup>, SHAO Ji-rong<sup>4</sup>, YAN Ming-li<sup>1</sup>, ZHOU Mei-liang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Life Science, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201; <sup>2</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese

Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>3</sup> College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University,

Chengdu 610100; <sup>4</sup> College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625001)

**Abstract:** *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn. is a perennial herb of the family Polygonaceae, which has a very high medicinal value because its swollen stems are rich in flavonoids. Wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn. is widely distributed in China, especially in southwestern areas such as Yunnan, Guizhou, Sichuan. Our research group conducted a 20-day study in Yunnan and collected wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn. resources from 14 different regions in Lijiang, Dali and Kunming. There were some differences in the plant or fruit morphology of wild golden buckwheat in different regions, which may be related to the geographical environment and climatic conditions. The contents of total flavonoids, rutin and quercetin in the swollen stems of wild golden buckwheat were measured by spectrophotometry and high performance liquid chromatography (HPLC). Results showed that the flavonoid contents of the swollen stems from different regions were remarkably different. Using ITS and *matK* molecular markers, genetic diversity and genetic relationship analysis were carried out, and it was found that the classification had a significant relationship with regional altitude.

**Key words:** *Fagopyrum cymosum*; germplasm investigation; Yunnan; flavonoids; genetic diversity

收稿日期: 2019-02-23 修回日期: 2019-03-11 网络出版日期: 2019-04-09

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190223001>

第一作者研究方向为金荞麦种质资源学, E-mail: 709526174@qq.com

通信作者: 严明理, 研究方向为作物遗传育种, E-mail: ymljack@126.com

周美亮, 研究方向为荞麦种质资源与品质代谢调控研究, Email: zhoumeiliang@caas.cn

**基金项目:** 国家重点研发计划中欧政府间合作项目(2017YFE0117600); 国家自然科学基金面上项目(31871536); 中国科协中国作物学会青年托举计划(2017QNRC182)

**Foundation project:** National Key R&D Program of China(2017YFE0117600), National Natural Science Foundation of China(31871536), Young Talent Supporting Plan of The Crop Science Society of China(2017QNRC182)

野生金荞麦 (*Fagopyrum cymosum* (Trev.) Meisn.) 又名野荞麦、天荞麦、开金锁银、透骨消、荞麦三七、铁拳头等, 是蓼科 (Polygonaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum* Mill.) 多年生草本植物。金荞麦原产于我国西南地区, 分布范围极其广泛, 主要生长于云南、四川、贵州、江西、湖北、湖南等省份<sup>[1-2]</sup>。云南是世界荞麦的起源中心、遗传多样性中心和生态多样性中心之一, 野生金荞麦资源非常丰富, 同时经过长期的演化与自然选择, 该地区造就和蕴藏了较多具有优良遗传性状的金荞麦类型<sup>[3]</sup>。

金荞麦籽粒营养丰富, 其块状茎也具有重要的药用价值。金荞麦块状茎活性提取物中主要药理活性成分是芦丁、槲皮素、表儿茶素等黄酮类物质, 具有清热解毒、排脓祛瘀和抗癌、抑制肿瘤细胞侵袭等作用, 是多种重要的抗癌药物和癌预防药物 (如复方金荞麦颗粒、金荞麦片和威麦宁胶囊等) 的主要成分之一<sup>[4-5]</sup>。金荞麦在民间常用于治疗咽喉肿痛、痢疾等; 临床则用于治疗急慢性气管炎、慢性阻塞性肺疾病等<sup>[6]</sup>。现代药理学研究发现, 金荞麦提取物具有较强的抗氧化作用, 对一些特定的自由基具有一定的清除能力<sup>[7]</sup>。

金荞麦在药学方面具有广泛的应用前景。随着对金荞麦营养和药用价值研究的不断深入, 金荞麦产品不断增多, 作为药用原料的块状茎市场需求量呈现出增长趋势, 导致金荞麦块状茎的产量供不应求。金荞麦悬浮细胞系和毛状根的研究虽已有报道, 但未见与之相关的专利及产品出现<sup>[8-9]</sup>, 同时人工栽培品种的金荞麦产量和品质还达不到要求。人们开始大量采挖野生资源, 导致金荞麦的栖息地遭到严重破坏, 种源大量减少, 濒临灭绝。1998 年 8 月 4 日, 我国已将野生金荞麦列为国家二级重点保护植物<sup>[10]</sup>。

本次调查进一步明确了云南省野生金荞麦资源分布和数量等基本情况。对金荞麦的生长状况、形态特征进行更深入的观测与记录, 发现在不同地理环境条件下生长的野生金荞麦在形态上存在差异。同时采集金荞麦植株、果实及块状茎, 对块状茎中的药用成分含量进行了测定, 试验数据显示在金荞麦块状茎中, 除芦丁、槲皮素外还有大量次生代谢产物未被挖掘。使用 ITS、*matK* 分子标记手段, 对收集的金荞麦进行遗传多样性和亲缘关系分析, 结果表明海拔是影响其分类的主要因素。

本次野生荞麦资源调查与收集的地域广泛, 旨在对云南省范围内野生金荞麦重点分布区域进行全面考察和补充收集, 加强云南省野生金荞麦遗传多样性的保护, 为进一步从野生金荞麦中挖掘优异基因、改善栽培金荞麦品质、提高栽培产量提供可靠依据, 对未来野生金荞麦资源利用提供遗传基础保障, 为金荞麦起源进化研究提供宝贵材料。

1 材料与方法

1.1 调查取样方法

考察组于 2017 年、2018 年 2 年间对云南省金荞麦资源进行了考察。调查、取样的方法采用典型性、随机性相结合, 对不同生态环境和遗传背景条件下的群体, 逐一调查、取样; 同一生态环境和遗传背景条件下的群体, 选择具有典型性的群体调查、取样; 群体大的选择有代表性的植株随机调查并取样和拍照, 群体小的则全部调查、取样 (包括果实、植株和地下茎标本)、拍照。

考察组在香格里拉市、丽江市、大理市、昆明市、红河州、宣威市等 6 州 (市) 10 多个县区进行了调查、取样, 采集地点见表 1。

表 1 采集野生金荞麦地理信息  
Table 1 Collection of *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn.geographic information

编号	采集地	经度 (E)	纬度 (N)	海拔 (m)	气候类型
Number	Collection place	Longitude	Latitude	Altitude	Climate type
YNJQ001	香格里拉虎跳峡镇	100° 03'	27° 10'	1838	温带气候
YNJQ002	丽江市大东乡	100° 23'	27° 06'	2010	温带气候
YNJQ003	大理市双廊镇	100° 15'	25° 55'	1940	亚热带高原季风气候
YNJQ004	丽江市丽宁公路旁	100° 09'	25° 56'	2050	温带气候
YNJQ005	大理市剑川县甸南镇	99° 57'	26° 35'	1980	亚热带高原季风气候
YNJQ006	丽江市宝山乡	100° 23'	27° 24'	2500	温带气候
YNJQ007	丽江市花园村	100° 16'	26° 50'	2500	温带气候
YNJQ008	丽江市仁和大村	99° 15'	26° 41'	2255	温带气候
YNJQ009	昆明市西山森林公园	100° 37'	23° 59'	1940	亚热带高原季风气候
YNJQ010	昆明市西郊碧鸡关	102° 36'	23° 58'	1990	亚热带高原季风气候
YNJQ011	玉溪市通海县河西镇	100° 35'	24° 11'	2100	亚热带季风气候
YNJQ012	丽江市古城区	100° 17'	26° 05'	2400	温带气候
YNJQ013	宣威市田坝镇	104° 08'	26° 11'	2120	亚热带气候
YNJQ014	昆明市官渡区	102° 50'	25° 11'	2000	亚热带高原季风气候
SCJQ015	四川省凉山彝族自治州螺髻山镇	102° 26'	27° 35'	2000	亚热带湿润性季风气候

1.2 黄酮类物质的检测方法

试验材料为本次考察过程中在云南省采集到的 14 份不同地区野生金荞麦以及实验室已有的在四川省螺髻山镇采集到的野生金荞麦(编号: SCJQ015);所有材料均为开花结实期一年龄以上的植株。取各个金荞麦的地下块状茎进行干燥、粉碎、过 60 目筛后,取 0.2 g 粉末,105 ℃ 杀青后,备用。每组试验重复 3 次。

采用三氯化铝法测定金荞麦块状茎中的总黄酮含量(比色波长为 420 nm)<sup>[11]</sup>。总黄酮标准曲线的绘制:分别吸取芦丁标准溶液 0.0625 mL、0.125 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 置于 10 mL 容量瓶中,加入 0.1 mol/L 三氯化铝溶液 2 mL、1 mol/L 乙酸钾溶液 3 mL,用 80% 甲醇溶液定容至刻度,摇匀,室温下放置 30 min,同时以 80% 甲醇溶液作为空白对照,在波长 420 nm 处测定吸

光度。以吸光度值 A 为纵坐标,芦丁浓度(mg/mL)为横坐标,绘制标准曲线:  $Y_1=75.972X_1-0.0048$  ( $R^2=0.9997$ )。同时,采用高效液相色谱(HPLC)测定主要酚酸类化合物芦丁和槲皮素含量,梯度洗脱程序如下:0.01 min,20% 的有机相 B;至 13 min 时,45% 的有机相 B;13.5 min,20% 的有机相 B;17 min,20% 的有机相 B;17.1 min,终止。其中:水相 A 为 0.1% 甲酸水溶液;有机相 B 为 0.1% 甲醇溶液。

1.3 分子标记方法

采用 CTAB 法提取所采集金荞麦的 DNA,分别利用通用引物<sup>[12]</sup>ITS(F:TCCTCCGCTTATTGATATGC,R:TCCGTAGGTGAACCTGCGG)、*matK*(F:ATGGAGGAATTCCAAGGATATTTA,R:TCAATCATTATGACTGGCCAAA)分子条形码对所有金荞麦进行分子标记多样性分析,PCR 反应体系为 20 μL,反应条件见表 2。

表 2 分子标记分析的引物及循环条件  
Table 2 Primers and cycling conditions used for DNA analysis

PCR 程序 PCR region	预变性 Initial denaturation	循环数 No.of cycles	循环参数 Cycling parameters			最终延伸 Final extension
			变性 Denaturation	退火 Denaturation	延伸 Extension	
ITS	94 ℃ (5 min)	35	94 ℃ (30 s)	52.5 ℃ (45 s)	72 ℃ (1 min)	72 ℃ (8 min)
<i>matK</i>	94 ℃ (5 min)	35	94 ℃ (30 s)	55 ℃ (45 s)	72 ℃ (90 s)	72 ℃ (8 min)

2 结果与分析

2.1 云南野生金荞麦的地理分布和植物学形态

2.1.1 地理分布 野生金荞麦在云南全省各地均有分布,是野生荞麦种中分布最为广泛的一个种。其中尤以滇中、滇西北分布数量多,其次为滇东南和滇南(图 1)。

金荞麦喜温暖湿润环境,对土壤要求并不严格,相比其他蓼科植物具有更高的环境适应能力。野生类型主要分布在水边、旷野、田埂、阴坡、路边和灌丛中,常与多年生的草本或半灌木伴生。

我们还发现,野生金荞麦在山谷、斜坡等陡峭地区生长旺盛,群落数较多,群落中植株数量较多;少数在田埂、公路旁的野生金荞麦则由于人畜等因素的破坏导致群落较少,群落中植株则会比较稀疏,密度较小。

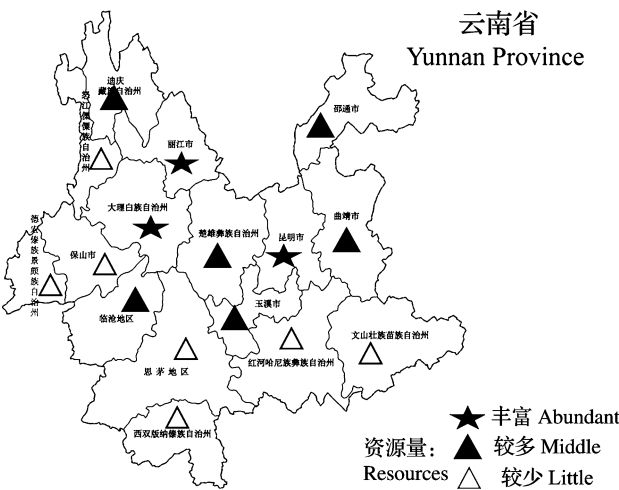


图 1 云南省野生金荞麦地理分布图  
Fig.1 Geographical distribution map of wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn.in Yunnan Province



**2.1.2 云南野生金荞麦植物学形态特点** 野生金荞麦是蓼科多年生双子叶草本植物,在荞麦属中分布最为广泛,其植物学基本特征为:植株高度为50~150 cm<sup>[13]</sup>,形态变异较大,有直立、半直立等;地下有根茎,主根粗大,呈球状或块状,横走,颜色呈红棕色;茎直立多分枝,具棱槽,中空,质软,淡绿微带红色;叶互生,卵状三角形或扁宽三角形,长、宽均为3~8 cm,顶端常突尖,基部心状戟形,托叶鞘近筒状斜形,膜质易裂,长5~8 cm,叶柄细长;花白色,腋生或顶生,呈聚伞状花序;花两性,有花梗,花单被,花

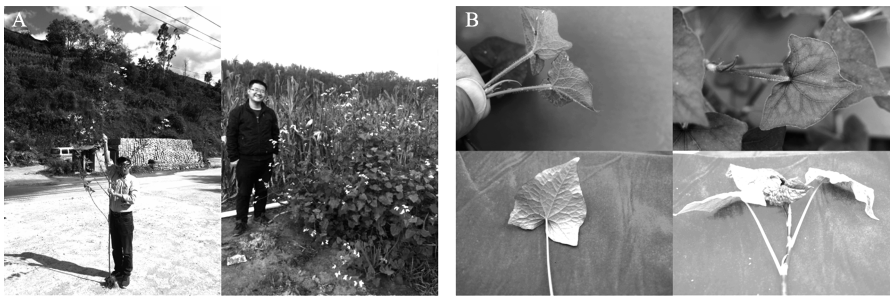
被5深裂,白色裂片狭长圆形,长约2 mm,宿存;雄蕊8,排列成2轮,内轮3枚,着生于子房基部,外轮5枚,着生于花被基部;雌蕊1,花柱3,花药粉红或紫红色。花柱的柱头为头状,花柱异长,通常有2种类型:(1)长花丝、短柱头型;(2)短花丝、长柱头型。瘦果卵状三棱形,少数四棱,长6~8 mm,露出于宿存花被的2~3倍,黑色、灰色或褐色,外皮光滑,无光泽;花期7~9月,果期8~10月。上述为云南野生金荞麦的基本形态学特征,但在一些器官中表现出了一定的差异性(表3)。

表3 云南野生金荞麦植物学形态表现  
Table 3 Morphology of Yunnan wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn.

器官 Organ	植株 Whole		叶 Leave		花 Flower			果实 Seed			地下茎 Stem
	株高 ( cm )	株型	叶形	有无毛	花色	花序 形态	花柱 类型	果实 形状	果实 颜色	果实大小 ( 长 × 宽 )	块茎类型
性状表现 Trait performance	100~350	直立或半 直立	卵状三角 形或扁宽 三角形	无毛或边 缘密被白 色柔毛	白色、粉 红色	聚伞状 花序	花柱异 长,雌蕊 不育	长三棱、 正三棱、 刺三棱	黑色、 黑褐色、 灰色	9 mm × 5 mm、 6 mm × 6 mm、 6 mm × 3 mm	球状或不 规则块状

在考察过程中,发现不同地区和海拔的野生金荞麦在形态上会产生较大差异。在香格里拉市考察时,发现在虎跳峡地区碎石坡边缘的野生金荞麦植株普遍较高,平均高度为220 cm,最高可达350 cm,而其余地区野生金荞麦的植株高度基本分布在100~200 cm之间(图2A),虎跳峡属于本次考察中海拔最低的地区,光照强度、土壤类型、周围植被种类等均与其余地区有明显差异,同时地处国

家自然保护区且毗邻金沙江,雨水充足,土壤湿润,栖息地的人为破坏程度轻,给野生金荞麦生长提供了良好的环境,使野生金荞麦的多样性得到了极大的保护。  
另外,在同一地点,野生金荞麦的形态也有一些差异,如叶片形状,叶片、茎秆被毛情况等,如虎跳峡一些植株的叶片、叶柄和茎秆密被柔毛(图2B),一些则没有。是否属于变种值得进一步研究。

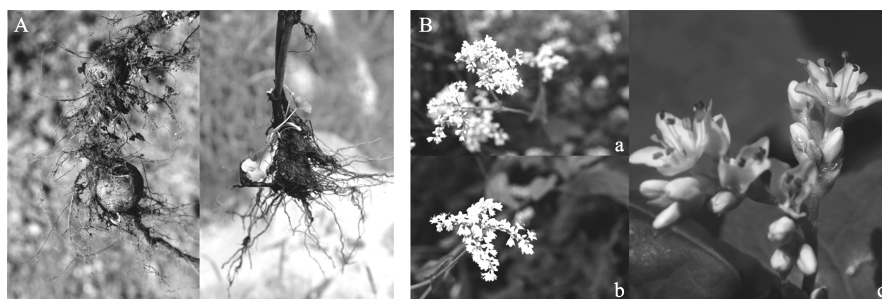


A: 植株高度对比; B: 叶片、叶柄密被柔毛情况对比  
A: Plant height comparison, B: Leaf and petiole pilose comparison

图2 植株及叶片、叶柄形态对比  
Fig.2 Comparison of plant, leaf and petiole morphology

在通海县河西镇公路旁斜坡考察时,发现野生金荞麦的块状茎呈球形,根须较少。而在其余地区采集的块状茎则为块状或不规则形状(图3A)且木质化较为严重。金荞麦球状地下茎与块状地下茎的

差别是否属于遗传组成上的差异尚需进一步研究。相比较生长在江边、山谷等雨水丰盛的黏土地区,在公路旁斜坡的沙土地区土质肥沃且疏松,更有利于野生金荞麦块状茎的生长。



A: 根形态对比; B: 花形态对比; a: 长花丝、短柱头型; b: 短花丝、长柱头型; c: 雌蕊发育不良  
A: Root morphology comparison, B: Flower morphology comparison, a: long filament, short stigma,  
b: short filament, long stigma, c: pistil dysplasia

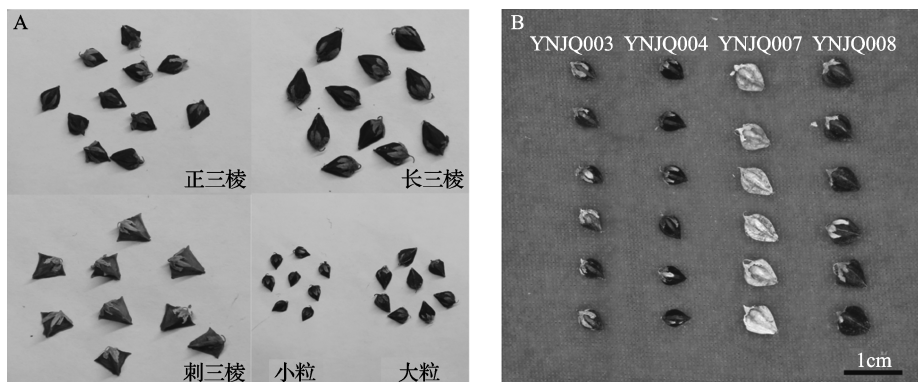
图3 根及花形态对比

Fig.3 Comparison of root and flower morphology

在观察花的类型时,在个别地区发现有少数雌蕊发育不良(无雌蕊)的植株,该植株的花朵其子房和柱头基本消失,明显与其余观测到的长花丝、短柱头型及短花丝、长柱头型不同(图3B),其原因值得进一步探讨。此外,在整个考察过程中,并未发现花丝、花柱等长类型的金荞麦花。

考察结束后,对所采集到野生金荞麦的果实进

行整理,发现其在形状、大小和颜色等方面都有明显的差异。果实的形状有正三棱、长三棱及刺三棱3种类型,且大小差异显著(图4A)。从图中(图4B)可以看出:果实的颜色有灰色、灰褐色、黑色3种,且果实的大小与颜色并没有直接关系。将果实的大小与采集地关联后,发现生长在海拔2000 m以上的野生金荞麦的果实籽粒普遍比低于2000 m的大。



A: 种子形状对比; B: 种子颜色、大小对比

A: Seed shape comparison, B: Seed color and size comparison

图4 种子形态对比

Fig.4 Comparison of seed morphology

## 2.2 金荞麦地下茎中的黄酮类物质及含量

高效液相色谱(HPLC)的结果峰型复杂,从十几个主峰中对酚酸类物质芦丁、槲皮素进行定量检测。在检测过程中,所有野生金荞麦的块状茎均未检测出槲皮素含量,这是块状茎中槲皮素的含量过低造成的。对总黄酮和芦丁的含量进行统计(表4)发现,芦丁占总黄酮含量的比例较小,说明在金荞麦的块状茎中除芦丁、槲皮素外还有其他大量的黄酮类物质。

将总黄酮与芦丁含量进行相关性分析发现,芦丁与总黄酮含量呈现正相关关系( $P=0.0261$ )。将

总黄酮含量与采集地的地理位置信息关联起来后,发现分布于香格里拉市、丽江市、大理市的野生金荞麦总黄酮含量明显高于昆明市、宣威市等地。可能是由于滇西地区的高山多,人口密度小,金荞麦的栖息地遭到破坏程度轻,同时所处地区的温带气候带来的雨水比较丰盛,给金荞麦提供了良好的生长条件。本次检测还发现,四川省螺髻山镇野生金荞麦的总黄酮和芦丁含量基本是最低的,从一定程度上说明了:相对于四川,云南的气候条件及生态环境更适合野生金荞麦次生代谢物的产生。

表 4 野生金荞麦的总黄酮及芦丁含量  
Table 4 Total flavonoids and rutin content of wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn.

编号 Number	总黄酮 (mg/g) Total flavonoids	芦丁 (mg/g) Rutin	编号 Number	总黄酮 (mg/g) Total flavonoids	芦丁 (mg/g) Rutin	编号 Number	总黄酮 (mg/g) Total flavonoids	芦丁 (mg/g) Rutin
YNJQ001	2.697	0.250	YNJQ006	0.927	0.134	YNJQ011	3.428	0.403
YNJQ002	1.651	0.203	YNJQ007	0.703	0.150	YNJQ012	4.020	1.069
YNJQ003	0.545	0.181	YNJQ008	3.888	0.097	YNJQ013	0.644	0.250
YNJQ004	0.466	0.126	YNJQ009	2.111	0.389	YNJQ014	0.519	0.098
YNJQ005	1.624	0.339	YNJQ010	0.973	—	SCJQ015	0.440	0.084

— : 未检出  
— : not detected

2.3 基于分子标记的亲缘关系分析

使用 MEGA 5.0 软件将所测序列构建系统进化树,并计算各类群间的遗传距离,自展检验 (bootstrap) 采取启发式搜索,设置重复检验次数为 1000 次 (replicates),以分析系统发育树拓扑结构的可靠性。

从 2 个分子条形码建立的系统进化树(图 5) 中发现,野生金荞麦聚为一枝与外源种拳参明显分离,这说明所建的进化树比较可信。而在金荞麦聚的大枝内,所分成的 2 个小枝的分布则按照 2000 m 海拔高低的趋势分类。

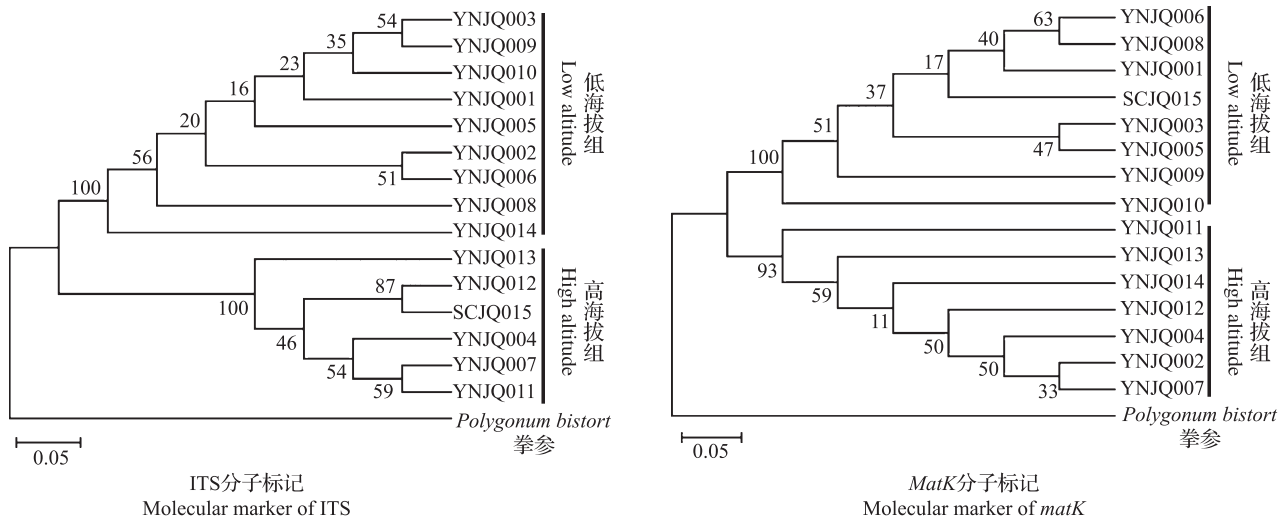


图 5 野生金荞麦资源聚类分析  
Fig.5 Cluster analysis of wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn.resources

3 讨论

我国西南地区尤其是云、贵、川三省的野生荞麦资源分布极为广泛。目前已报道在中国发现的 21 个野生荞麦中,至少有 14 个可以在云南地区找到<sup>[14]</sup>。而西南地区的金荞麦不但资源非常丰富,而且变异类型多样。研究者从未停止过对西南地区金荞麦的考察与研究。1994 年,吴惠群等<sup>[15]</sup>对云南金荞麦的生长环境进行研究后发现,金荞麦生长环境多样,对土壤的要求不高,最适宜生长的海拔为 1600~2200 m。2000 年,罗定泽等<sup>[16]</sup>对云南

和四川金荞麦开展居群遗传多样性研究,发现金荞麦居群内具有较高的遗传多样性。2007 年,张春平等<sup>[17]</sup>通过双向指示种分析法 (TWINSpan) 和除趋势对应分析 (DCA) 对重庆金荞麦群落分类与排序得出结论:光照与海拔是决定群落组成和空间分布的主要限制因子。2010 年,杨坪等<sup>[18]</sup>对四川省凉山州的金荞麦的资源分布进行统计后,提出建立种质资源库、异地保存及组培继代等方式对野生金荞麦资源进行保护。2011 年,李兴等<sup>[19]</sup>对云南野生金荞麦进行调查,并建立资源圃。2017 年,高佳等<sup>[20]</sup>在重庆发现海拔 1300~1400 m 的金荞麦可以



开花,但由于只有短花丝、长花柱型,故不能结实。西南地区环境温暖湿润,雨水丰盛,正是金荞麦喜爱的多雨潮湿的气候环境,极为适合野生金荞麦的生长。本考察组基于已有对云南地区野生金荞麦的研究成果,对已报道金荞麦的所在地以及可能存在的地区进行调查、取样,以便于对云南野生金荞麦的资源分布有更加深入地了解和系统地规划。在对资源分布调查的同时,采集金荞麦的地下块状茎及对其植株形态进行观察记录并制作标本。而后,结合分子生物学手段,利用 HPLC 以及 DNA 条形码技术探讨云南野生金荞麦的遗传多样性和所受生境影响的演化趋势,从而进一步掌握云南野生金荞麦的资源分布与进化规律,为更广泛、更有效地保护和利用丰富的野生金荞麦自然资源提供一定的理论依据。

环境因素对野生金荞麦的生长及形态建成有重要的作用。杨坪等<sup>[21]</sup>发现 15℃ 是金荞麦种子发芽的较适宜温度。贾彩凤等<sup>[22]</sup>发现金荞麦生长环境的不同导致金荞麦对日照强度的适应能力也不尽相同。张益锋等<sup>[23]</sup>研究证明在金荞麦幼苗期进行适当遮阴,生长期降水量为 500~600 mm 的情况下,金荞麦的成长状况最为良好。戴红燕等<sup>[24]</sup>的研究结果显示,光照强度的减弱能使金荞麦提前进入生殖生长的阶段,缩短了营养生长阶段的时间,造成单株叶片数量、叶面积、分枝数减少。相反,适当的光照强度能增加茎的高度。云南省地处我国西南地区,山地与盆地面积极其广泛。地形分为东西两大地形区,东部为滇东、滇中高原,平均海拔 2000 m 左右;西部高山峡谷相间,地势险峻,山岭和峡谷相对高差超过 1000 m。主要是热带、亚热带地区,温带型气候,日温差大、干湿季节分明、气温随海拔变化异常明显。全省气温均在 6~22℃ 之间,年温差一般在 10~12℃ 之间。降水在季节上和地域上的分配极不均匀,最多的地方年降水量可达 2200~2700 mm,最少的仅有 584 mm。本次考察我们还发现,在地势相对平缓的昆明和大理地区,尽管金荞麦分布密度较大,但变异类型相对较少,而在丽江地区地形复杂多样,野生金荞麦的变异类型更为丰富。显然,险峻的地势和适宜的温度给金荞麦在云南的生长提供了基础保障和有利的条件,从而使野生金荞麦在云南全省范围内都有分布,并使其遗传多样性得到良好的保存。海拔高度是影响山地草本植物分布和组成的主要因素。云南各地区之间海拔高度及降水量的显著差异导致金荞麦植株在接收光照强度、周围植被、土壤湿度等方面均有明显的不同,从

而致使野生金荞麦植株为适应不同的生长环境产生了不同的形态。

黄酮类化合物已经被广泛用于研究进化关系。Bate-Smith 等<sup>[25]</sup>以黄酮类化合物解决了榆树 (*Ulmus pumila* L.) 分类问题,揭示了榆树以及不同榆科植物之间的系统进化关系。与此同时,许多被子植物群体已经利用黄酮类化合物的含量成功地解释进化关系<sup>[26]</sup>。此外,最近的研究还确定了黄酮类化合物在系统发育和生态环境研究中的可能性,Harris<sup>[27]</sup>测定了匍灯藓属 (*Plagiomnium* T.J.Kop.) 中不同种类的黄酮类化合物发现,它主导系统发育和生态环境之间的相关性并不显著,结果证明黄酮类物质的变化仅能反映植物近期的进化。然而,在另一项十字花科的研究中,Aguinagalde 等<sup>[28]</sup>通过 14 种海甘蓝属 (*Crambe* L.) 植物中检测出的 21 种黄酮类化合物含量可以很容易地对这些海甘蓝进行区分。唐宇等<sup>[29]</sup>的研究发现,金荞麦花、叶中均有较高的芦丁和槲皮素含量,而地下茎中的芦丁和槲皮素含量极低。在本次研究中,利用分光光度法和 HPLC 方法对采集于 15 个不同地区野生金荞麦块状茎中的总黄酮及次生代谢产物含量进行测定,结果表明,在野生金荞麦的块状茎中的芦丁含量很低,而槲皮素的含量因太低未被检测出。这与唐宇等<sup>[29]</sup>的研究结果类似。同时,海拔与黄酮类物质的含量并不存在相关性,意味着海拔并不是影响金荞麦次生代谢产物含量的主要因素。在本研究中发现,云南所有的野生金荞麦总黄酮含量均比四川螺髻山的高,这种现象是否是偶然因素还是由于地区不同而导致的,还需要更多的理论和试验来支持。

根据吴琦等<sup>[30]</sup>的研究报道,由于植物基因组结构和功能上的差异,其进化速率也有所不同。核基因组 (nDNA) 的进化速率明显高于叶绿体基因组 (cpDNA),故导致 2 种分子标记做出的图谱会有一些的差异,差异分别为编号 YNJQ002、YNJQ014、SCJQ015,在利用核基因组建立的 ITS 遗传进化树中,编号 YNJQ002 和 YNJQ014 位于低海拔组,编号 SCJQ015 位于高海拔组,而在由叶绿体基因组建立的 *matK* 发育树中恰恰相反。将其与海拔相关联时发现,它们的海拔均位于 2000 m 左右,处于海拔由高到低的一个过渡节点,由此推测这 3 种野生金荞麦为过渡种。冀花存<sup>[31]</sup>研究发现随着海拔的升高、光照强度的变化,金荞麦群落的分布会逐渐减少。海拔的变化会引起金荞麦生长环境中的温度、光照、周围植被等多因素的变化,从而导致金荞麦在

群落分布及形态上出现差异。针对于不同海拔的金荞麦的不同形态产生的机制,有待进一步探索与研究。

## 4 小结与展望

在本次考察中,既对云南野生金荞麦资源分布的广泛性、形态多样性及丰富的遗传多样性有了更加深入地调查与了解,同时又对其进行了品质及亲缘关系分析,为今后云南野生金荞麦资源的保护及利用提供了坚实的基础与依据。现如今,金荞麦的药用价值被逐渐发掘,市场需求量急剧上升,然而人们对金荞麦野生资源的保护意识薄弱,盲目采集,导致野生金荞麦资源遭到严重破坏,其后代繁衍面临严重的威胁。对于这一现状,可以采取加强立法针对性,完善相关法律法规;宣传野生资源的重要性,加强资源保护意识;建立资源圃和保护区;人工栽培等手段来保护我国野生金荞麦资源丰富的多样性,实现金荞麦资源的可持续利用。

金荞麦具有很高的营养与药用价值,其籽粒中含有蛋白质、脂肪、维生素等丰富的营养成分,其活性提取物中富含了大量的黄酮类物质,具有抗癌、抑制肿瘤细胞肺侵袭和转移、镇咳和祛痰、抑菌等功效,在医药方面具有较为广泛的应用前景。目前对于金荞麦的开发与研究均属于基础阶段。由金荞麦制造的药剂只有少量上市且其功能也只应用于癌症及辅助治疗,对于其余方面的作用,如降血糖、降血脂、抗衰老、抑菌等,开发的还不够深入,对除根茎外的部位研究则更少。与此同时,金荞麦作用机理及药代动力学的研究和报道较少,还有待进一步研究。所以我们应更深入、更广泛地开发和挖掘金荞麦的营养价值及药用功能,造福于人类。

## 参考文献

- [1] 刘光德,李名扬,祝钦澍,李艳冬,睦顺照. 资源植物野生金荞麦的研究进展. 中国农学通报, 2006(10): 380-389  
Liu G D, Li M Y, Zhu Q L, Li Y D, Sui S Z. The research advance on resource plant *Fagopyrum dibotrys*. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006(10): 380-389
- [2] 焦连魁,曾燕,赵润怀,田壮,李进瞳,林晖才,靳云西,王继永. 金荞麦资源研究进展. 中国现代中药, 2016, 18(4): 519-525  
Jiao L K, Zeng Y, Zhao R H, Tian Z, Li J T, Lin H C, Jin Y X, Wang J Y. Resources research advances of *Fagopyrum dibotrys* and its exploration of development. Modern Chinese Medicine, 2016, 18(4): 519-525
- [3] Zhou M L, Kreft I, Suvorova G, Tang Y, Woo S H. Buckwheat germplasm in the world. San Diego, USA: Academic Press, 2018: 61-95
- [4] 史建强,李艳琴,张宗文,吴斌,王安虎. 荞麦及其野生种遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 443-450  
Shi J Q, Li Y Q, Zhang Z W, Wu B, Wang A H. Genetic diversity of buckwheat and its wild species. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(3): 443-450
- [5] Pui-Kwong Chan. 金荞麦体外抑制肿瘤细胞生长的研究. 中西医结合学报, 2003(2): 128-131  
Pui-Kwong Chan. Inhibition of tumor growth in vitro by the extract of *Fagopyrum cymosum*. Journal of Integrative Medicine, 2003(2): 128-131
- [6] 李蕾,孙美利,张舒媛,魏颖,时晓娟,张晶,徐瞰海,徐铜华. 近十年金荞麦化学成分及药理活性研究进展. 中医药导报, 2015, 21(4): 46-48  
Li L, Sun M L, Zhang S Y, Wei Y, Shi X J, Zhang J, Xu T H, Xu T H. Progress of chemical constituents and pharmacological activity test of *Fagopyrum Dibotrys*. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2015, 21(4): 46-48
- [7] 严晶,袁嘉嘉,刘丽娜,尚文斌,孙志广. 金荞麦药理作用及临床应用研究进展. 山东中医杂志, 2017, 36(7): 621-624  
Yan J, Yuan J J, Liu L N, Shang W B, Sun Z G. Progress in pharmacological action and clinical application of *Fagopyrum cymosum*. Shandong Journal of Traditional Chinese Medicine, 2017, 36(7): 621-624
- [8] 李艳冬. 药用植物金荞麦悬浮体系的建立及其次生代谢物的生产调控. 重庆: 西南大学, 2007  
Li Y D. Establishment of the cell suspension culture and the regulation of secondary metabolite biosyntheses in cell suspension culture of *Fagopyrum cymosum*. Chongqing: Southwest University, 2007
- [9] 潘灿飞. Ri 质粒介导金荞麦的遗传转化及毛状根中类黄酮合成的调节. 重庆: 西南大学, 2008  
Pan C F. The Genetic Transformation of *Fagopyrum dibotrys* by Ri plasmid and regulating the synthesis of flavonoids in hairy root. Chongqing: Southwest University, 2008
- [10] 曾琴,李虹. 浅析不同林地栽培金荞麦的不同表现. 南方农业, 2018, 12(21): 12-13  
Zeng Q, Li H. Analysis of different performances of *Fagopyrum cymosum* cultivated in different forests. South China Agriculture, 2018, 12(21): 12-13
- [11] 李为喜,朱志华,李国营,刘方,李燕,刘三才. AIC<sub>3</sub> 分光光度法测定荞麦种质资源中黄酮的研究. 植物遗传资源学报, 2008, 9(4): 502-505  
Li W X, Zhu Z H, Li G Y, Liu F, Li Y, Liu S C. Study on flavone in Buckwheat determined by spectrophotometric method. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(4): 502-505
- [12] 汪德州. 基于 *matK* 及 rDNA-ITS 对川西荞麦的分子系统关系研究. 成都: 四川农业大学, 2011  
Wang D Z. Study on Phylogenetic relationship of *Fagopyrum* in west of Sichuan based on *matK* and rDNA-ITS. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2011
- [13] 胡肃银. 安徽省旌德县野生金荞麦资源调查研究. 安徽农业科学, 2014, 42(16): 4971-4973  
Hu S Y. Investigation of the wild *Fagopyrum dibotrys* resources in Jingde County of Anhui province. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(16): 4971-4973
- [14] 唐宇,邵继荣,周美亮. 中国荞麦属植物分类学的修订. 植物



- 遗传资源学报, 2019, 20(3): 646-653
- Tang Y, Shao J R, Zhou M L. A taxonomic revision of *Fagopyrum* Mill from China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 646-653
- [15] 吴惠群, 李光德. 金荞麦生态环境研究. 云南师范大学学报: 自然科学版, 1994(4): 102-109
- Wu H Q, Li G D. Ecological environment research of *Fagopyrum cymosum*. *Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition*, 1994, (4): 102-109
- [16] 罗定泽, 侯鑫, 赵佐成. 西南地区金荞麦 (*Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara) 居群遗传多样性研究. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2000(4): 421-424
- Luo D Z, Hou X, Zhao Z C. Study on genetic diversity of *Fagopyrum Dibotrys* populations in Southwest China. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2000(4): 421-424
- [17] 张春平, 何平, 冀花存, 张志勇, 胡世俊, 高娜, 李俊慧. 渝东地区药用保护植物金荞麦群落数量分类和排序研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2007(8): 107-113
- Zhang C P, He P, Ji H C, Zhang Z Y, Hu S J, Gao S, Li J H. A study on the numerical classification and ordination of medicinal conservation plant *Fagopyrum cymosum* communities in eastern Chongqing. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2007(8): 107-113
- [18] 杨坪, 李琨, 徐伦, 吴碧荣. 四川省凉山州金荞麦生长特性及分布特征. 安徽农业科学, 2010, 38(28): 15596-15597
- Ysng P, Li K, Xu L, Wu B R. Growth characteristics and distribution of *Fagopyrum cymosum* in Liangshan of Sichuan province. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(28): 15596-15597
- [19] 李兴, 曾燕, 张红才, 李进瞳, 王继永. 金荞麦的人工驯化和繁殖技术研究. 现代中药研究与实践, 2011, 25(1): 5-8
- Li X, Zeng Y, Zhang H C, Li J T, Wang J Y. Study on artificial domestication and reproduction techniques of *Fagopyrum dibotrys*. *Research and Practice on Chinese Medicines*, 2011, 25(1): 5-8
- [20] 高佳, 黄娟, 冉启凡, 严娟, 董昕, 杨海健, 张晓春, 范彦, 张谊模, 张云贵, 高爱农. 重庆部分地区的种质资源调查荞麦篇. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 595-601
- Gao J, Huang J, Ran Q F, Yan J, Dong X, Yang H J, Zhang X C, Fan Y, Zhang Y M, Zhang Y G, Gao A N. Investigation of crops resources in Chongqing municipality in the view of Buckwheat species. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(3): 595-601
- [21] 杨坪, 梁剑, 段宏伟. 温度和 PEG 浓度对金荞麦种子萌发的效应. 西昌学院学报: 自然科学版, 2007(4): 17-19, 27
- Yang P, Liang J, Duan H W. Effects of different irrigation methods on the grain-filling properties of paddy rice. *Journal of Xichang University: Natural Science Edition*, 2007(4): 17-19, 27
- [22] 贾彩凤, 李艾莲. 药用植物金荞麦的光合特性研究. 中国中药杂志, 2008(2): 129-132
- Jia C F, Li A L. Studies on photosynthetic characteristics of medicinal plant *Fagopyrum cymosum*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2008(2): 129-132
- [23] 张益锋, 何平, 李桂强, 刘云, 张春平, 胡世俊. 光强对金荞麦幼苗部分生理指标和生物量的影响. 西南大学学报: 自然科学版, 2010, 32(4): 6-11
- Zhang Y F, He P, Li G Q, Liu Y, Zhang C P, Hu S J. Effects of light intensity on biomass and physiological indexes of *Fagopyrum dibotrys*. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2010, 32(4): 6-11
- [24] 戴红燕, 华劲松. 光照强度对金荞麦生长发育及形态建成的影响. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 77-79
- Dai H Y, Hua J S. Effects of light intensity on growth development and formation on *Fagopyrum cymosum*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(10): 77-79
- [25] Bate-Smith E C, Richens R H. Flavonoid chemistry and taxonomy in *Ulmus*. *Biochemical Systematics & Ecology*, 1973, 1(3): 141-146
- [26] Stuessy T F, Crawford D J. Flavonoids and phylogenetic reconstruction. *Plant Systematics & Evolution*, 1983, 143(1/2): 83-107
- [27] Harris E S J. Phylogenetic and environmental lability of flavonoids in a medicinal moss. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2009, 37(3): 180-192
- [28] Aguinalalde I, CÉSAR G, Gomez-Ampo A. The phylogenetic significance of flavonoids in *Crambe* L. (Cruciferae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2010, 89(3): 277-288
- [29] 唐宇, 贾洪锋, 孙俊秀, 钟志惠, 邵继荣. 金荞麦有效成分及含量变化研究. 湖北农业科学, 2014, 53(3): 672-675
- Tang Y, Jia H F, Sun J X, Zhong Z H, Shao J R. Studies on the active ingredients and its content change of *Fagopyrum cymosum*. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(3): 672-675
- [30] 吴琦, 曾子贤, 邵继荣, 陈惠, 唐宇. 金荞麦内转录间隔区 (ITS) 的扩增及序列分析. 草业学报, 2007(5): 127-132
- Wu Q, Zeng Z Q, Shao J R, Chen H, Tang Y. Sequence analysis of internal transcribed spacer of *Fagopyrum dibotrys* and its systematic utility. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007(5): 127-132
- [31] 冀花存. 金荞麦 [*Fagopyrum cymosum* (Trev.) Meisn.] 的群落生态与遗传多样性研究. 重庆: 西南大学, 2007
- Ji C H. Studies on community ecology and genetic diversity of *Fagopyrum cymosum* (Trev.) Meisn. Chongqing: Southwest University, 2007