

# 雅鲁藏布江河岸植物物种丰富度分布格局及其环境解释

拉 琼<sup>1,2</sup> 扎西次仁<sup>1</sup> 朱卫东<sup>1</sup> 许 敏<sup>1</sup> 钟 扬<sup>1,2\*</sup>

1 (西藏大学生命科学系与生物多样性研究所, 拉萨 850000)

2 (复旦大学生命科学学院进化与生态学系, 上海 200433)

**摘要:** 沿环境梯度物种多样性的分布格局及其环境影响因子的研究是生态学研究的重点内容之一。雅鲁藏布江是我国海拔最高的大河, 目前还没有针对其流域的河岸植物群落物种丰富度分布格局的系统研究。作者沿海拔梯度从雅鲁藏布江上游源头区至下游共设置了15个海拔样带, 在每个海拔样带随机取6个5 m×5 m样方, 共对90个样方的河岸植物群落物种组成和植被类型进行了调查, 共记录到238种维管束植物。DCA排序结果表明物种组成变化主要受海拔和经度控制。CCA排序区分出5种大的植被类型, 即高寒草甸或高寒草原、高山草原、两种亚高山灌丛草原和林缘灌丛植被。各植被类型的分布和变化主要受海拔和经度影响。雅鲁藏布江河岸植物物种丰富度沿海拔和经度梯度呈浅“U”形分布格局, 物种丰富度与年均降水量和植被盖度成显著正相关。

**关键词:** 环境因子, 植被类型, 海拔, 经度, 降水量, 植被盖度

## Plant species-richness and association with environmental factors in the riparian zone of the Yarlung Zangbo River of Tibet, China

La Qiong<sup>1,2</sup>, Zhaxi Ciren<sup>1</sup>, Weidong Zhu<sup>1</sup>, Min Xu<sup>1</sup>, Yang Zhong<sup>1,2\*</sup>

1 Institute of Biodiversity, Department of Biology, Tibet University, Lhasa 850000

2 Department of Evolution & Ecology, College of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433

**Abstract:** Studying patterns of species richness and their causal factors remain important topics in ecology. How species composition, richness and vegetation type change along environmental gradients within the riparian zone of Yarlung Zangbo River have been relatively little studied. Here, a total of 90 plots (6 plots×15 altitudinal transects) were sampled along an altitudinal gradient within this riparian zone. A total of 238 species of vascular plants were recorded, and results of a Detrended Correspondence Analysis indicated that both altitude and longitude play important roles in determining species composition. Canonical Correspondence Analysis showed that the 90 plots could be divided into five vegetation types, and that these vegetation types were affected most by altitude and longitude. We found a slightly inverted U-shaped relationship between species richness and altitude and longitude. Species richness was positively correlated with precipitation and vegetation cover.

**Key words:** environmental factor, vegetation type, altitude, longitude, precipitation, vegetation cover

物种丰富度的分布格局及其成因机制一直是生态学研究的重要内容(MacArthur, 1972; Currie, 1991; Gotelli & Colwell, 2001; Visser, 2014), 特别是 一定环境梯度下物种丰富度的分布格局是其研究 热点议题之一(Kratochwil, 1999; Willig *et al.*, 2003;

Körner, 2007; Szava-Kovats *et al.*, 2013), 生态学家在 全球各种不同环境梯度和空间尺度上进行研究, 发 现了各种不同类型的物种丰富度分布格局(Gaston, 2000; Grytnes, 2003; Qian & Ricklefs, 2007; Miyamoto *et al.*, 2014)。影响物种多样性分布格局的主要自然

收稿日期: 2013-08-13; 接受日期: 2014-04-13

基金项目: 西藏自治区科技厅自然科学基金项目(2010)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yangzhong@fudan.edu.cn

环境因素包括海拔、纬度、经度、地形、土壤湿度等(于顺利等, 2004; Kraft *et al.*, 2011; Jiménez-Alfaro *et al.*, 2014)。由于海拔和纬度梯度包含了水、热和光照等重要环境因子的变化而成为物种丰富度梯度格局研究的重要方面(Gaston, 2000), 特别是在海拔梯度下, 水、热因子可在相对较小范围内急剧变化(Walter, 1979; 唐志尧和方精云, 2004)。在有关物种海拔梯度分布格局研究中单峰和单调下降型分布格局是最常见的两种类型(Grytnes, 2003), 约有一半的研究结果呈现单峰分布格局, 其次是单调下降型分布格局(Rahbek, 2005)。影响这些不同分布格局的因素往往因研究尺度不同而异(Whittaker *et al.*, 2001; Nogués-Bravo *et al.*, 2008; 张大才等, 2009)。除了海拔梯度分布格局外, 纬度梯度分布格局也是生物多样性分布的重要特点, 但是气候因子在较小纬度梯度内变化远没有海拔梯度那么剧烈(Halbritter *et al.*, 2013)。一般情况下, 物种丰富度随纬度升高而呈降低趋势(Rohde, 1992), 但也有峰值出现在中纬度, 甚至无明显梯度变化的现象(Qian & Ricklefs, 2007)。由于经度梯度引起的气候因子差异没有海拔和纬度梯度那么明显, 所以有关经度梯度下物种丰富度分布格局研究并不多见。

陆地生态系统中江河流域的河岸区是生物种群和各种环境因子相互影响的潜在敏感地区(李海东等, 2011), 掌握河岸生物多样性分布格局与各种环境因子的关系, 对于河岸生态系统保护特别是流域生态安全具有十分重要的科学意义。因此, 近年来有关河岸植物多样性与环境之间的关系引起了很多生态学家的兴趣(Acker *et al.*, 2003; Sabo *et al.*, 2005; Kuglerová *et al.*, 2014; O'Donnell *et al.*, 2014)。

雅鲁藏布江是世界上海拔最高的大河(何萍等, 2005)。作为青藏高原上的最重要的河流, 掌握雅鲁藏布江流域植物多样性分布格局对研究青藏高原生物多样性, 确保青藏高原主体作为我国重要生态屏障有着十分重要的科学意义。目前, 有关该区域的植物多样性研究除了涉及局部区域之外, 整个雅鲁藏布江流域河岸的植物物种丰富度分布格局研究还较为缺乏。本研究沿海拔梯度从上游至下游, 对雅鲁藏布江流域河岸谷底植被和维管束植物组成进行了野外样方调查, 揭示了该区域的植物物种丰富度分布格局, 并分析了其与环境因子的关系。本研究结果将丰富这一区域植物多样性的研究,

并可为该流域的植物多样性评估和保护提供科学依据。

## 1 研究地基本概况

雅鲁藏布江源自于喜马拉雅山北麓的杰马央宗冰川, 全长约3,350 km, 中国境内长达2,052 km(赵鲁青, 2011)<sup>①</sup>, 由西向东沿喜马拉雅山脉贯穿整个藏南河谷, 在东部绕过喜马拉雅山脉最东端的南迦巴瓦峰转向印度洋。从源头到东部大峡谷, 地质地貌复杂独特, 海拔高差明显, 气候变化多样。上游呈高原宽谷地貌, 谷底海拔约4,500–4,800 m; 中游河谷宽、狭相间, 谷底海拔为3,500–4,400 m; 而下游山高谷深, 水流湍急, 植物组成十分复杂多样。整个雅鲁藏布江流域包括了干旱、半干旱半湿润、湿润3种气候特征(赵鲁青, 2011)<sup>①</sup>。流域内气温和降水量由西向东随海拔的降低而呈升高或增加趋势。本研究区内雅鲁藏布江下游地区年平均气温可达约11℃以上, 而在上游地区只有约-1℃左右(表1)。整个流域内植被类型丰富, 上游谷底属于高寒草原和草甸, 而中游广大河谷区是喜温的半干旱草原和落叶阔叶灌丛草原, 下游逐渐向复杂的森林植被类型过渡(中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1988)。

## 2 方法

### 2.1 取样

于2011年8月至2012年8月分两次进行野外研究工作, 包括样方的调查、标本的采集和植物标本的室内鉴定等。从雅鲁藏布江的源头区, 即从仲巴县帕羊镇(30°01' N, 83°28' E)南侧开始, 沿着海拔梯度, 从西向东沿雅鲁藏布江河岸共设置了15个海拔段(附图1), 分别为4,593 m、4,580 m、4,490 m、4,010 m、3,892 m、3,789 m、3,716 m、3,590 m、3,620 m、3,570 m、3,580 m、3,550 m、3,220 m、3,170 m和2,950 m。样地既基本覆盖了河流经过的15个行政县区域, 又基本能保证在地理空间上具有一定的代表性。在每个海拔段河岸植物群落里, 随机设置6个5 m×5 m样方。每个样方设置时尽可能考虑生境相对较为均匀和自然, 而避开极端小生境(如人为活动干扰严

<sup>①</sup> 赵鲁青 (2011) 雅鲁藏布江中下游区域植被绿期和净初级生产力时空格局及其对气候变化的响应. 硕士论文, 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海.

重、遭受地质灾害的地方), 并保证各样方基本能代表每个海拔段内最典型、最常见的自然植被类型。这样, 15个海拔段共设置了90个样方, 详细样地信息见表1。详细记录每个样方内所有维管束植物物种组成, 同时, 测定每个样方的海拔、经度、纬度和植被盖度。绝大多数植物物种通过野外识别和室内标本鉴定识别到了种水平, 少数植物因缺花少果而暂时不能鉴定到种, 以属的名称+数字加以区别和记录, 如棘豆属一种, 记成*Oxytropis* sp.1。

各样方的气象数据如年均降水量、年均气温采用15个海拔段所属行政县气象观测站的近35年气象数据平均值。因为每个海拔样带设置的地点考虑到了尽可能靠近河流经过各行政县的位置(最远不超过15 km), 因此, 各县气象观测站的气象数据基本能够表征样方所处的局地气候。

2.2 数据分析

排序的方法能够比较客观地反映植物群落物种分布格局、群落类型及群落与生态环境之间的关系。排序一般分为间接排序和直接排序, 间接排序即在特定的环境轴上探讨物种的变化情况, 分析和推测其可能的环境梯度, 而直接排序用潜在的环境梯度或已测定环境因子数据来解释物种或植被类型变化(Lepš & Šmilauer, 2003)。因此, 本研究先采用间接排序方法, 即除趋势对应分析方法(Detrended Correspondence Analysis, DCA)(Hill &

Cauch, 1980)对整个样方物种组成进行分析, 揭示所调查植物群落物种组成的空间变化, 并分析影响其格局的可能环境因子。在此基础上, 进一步采用直接排序方法, 即典范对应分析方法(Canonical Correspondence Analysis, CCA), 用本研究直接测得的环境数据, 进一步对物种数据进行分析, 确认植被类型空间分布格局与具体测定的生态环境因子之间是否存在显著相关性, 即海拔、经度、纬度、各海拔样带年均降雨量和年均温度和植被空间分布格局之间关系。CCA排序特别适合用来分析植物群落与具体环境因子之间关系(Braak, 1986)。

为了分析物种丰富度分布格局与环境因子之间关系, 我们采用广义线性回归模型(Generalized Linear Model, GLM)(McCullagh & Nelder, 1989)进行回归分析, 研究物种丰富度分布格局与海拔、经度、纬度、年均降雨量、年均温度和植被盖度之间的关系。

有关排序分析采用计算机软件CANOCO 4.5完成, 统计回归分析采用统计软件S-Plus 6.2(2003)完成计算。

3 结果

3.1 物种组成

90个样方共记录维管束植物238种, 常见植物名录见附表1。整个样方中出现频度最高的前三大

表1 雅鲁藏布江河岸植物群落调查的15个海拔样带信息(每样带6个样方)  
Table 1 Information of the 15 surveyed altitudinal transects in the riparian zone along the Yarlung Zangbo River, Tibet. Each transect contains six plots.

| 海拔样带<br>Altitudinal transects | 东经<br>E | 北纬<br>N | 海拔<br>Altitude (m) | 样方号<br>Plot No. | 年均降雨量<br>Precipitation (mm) | 年均温<br>Temperature (°C) | 行政区<br>County |
|-------------------------------|---------|---------|--------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|
| 1                             | 83°25'  | 30°01'  | 4,593              | 1-6             | 290.8                       | -1.2                    | 帕羊 Payang     |
| 2                             | 83°58'  | 29°44'  | 4,580              | 6-12            | 290.8                       | -1.2                    | 仲巴 Zhongba    |
| 3                             | 85°17'  | 29°19'  | 4,490              | 13-18           | 400.0                       | 4.5                     | 萨嘎 Saga       |
| 4                             | 87°34'  | 29°07'  | 4,010              | 19-24           | 296.8                       | 6.6                     | 拉孜 Lazi       |
| 5                             | 88°15'  | 29°21'  | 3,892              | 25-30           | 350.0                       | 6.35                    | 通门 Tongmen    |
| 6                             | 83°25'  | 30°01'  | 3,789              | 31-36           | 425.5                       | 6.4                     | 日喀则 Rikaze    |
| 7                             | 90°23'  | 29°16'  | 3,716              | 37-42           | 325.2                       | 6.9                     | 尼木 Nimu       |
| 8                             | 90°20'  | 29°20'  | 3,590              | 43-48           | 441.6                       | 7.7                     | 曲水 Qushui     |
| 9                             | 90°51'  | 29°16'  | 3,620              | 49-54           | 367.5                       | 8.6                     | 贡嘎 Gongga     |
| 10                            | 91°14'  | 29°16'  | 3,570              | 55-60           | 420.0                       | 8.6                     | 扎囊 Zhanang    |
| 11                            | 91°36'  | 29°15'  | 3,580              | 61-66           | 379.4                       | 8.4                     | 乃东 Naidong    |
| 12                            | 91°55'  | 29°16'  | 3,550              | 67-72           | 420.0                       | 8.0                     | 桑日 Sangri     |
| 13                            | 92°32'  | 29°08'  | 3,230              | 73-78           | 491.6                       | 9.1                     | 加查 Jiacha     |
| 14                            | 83°25'  | 30°01'  | 3,170              | 79-84           | 680.0                       | 11.0                    | 朗县 Langxian   |
| 15                            | 93°02'  | 29°02'  | 2,950              | 84-90           | 686.0                       | 8.3                     | 米林 Milin      |

科分别是菊科、禾本科和豆科。出现频度较高的物种有：菊科的拉萨狗娃花(*Heteropappus gouldii*)(29次)和藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)(27次)、伊朗蒿(*A. persica*)(19次)等蒿属植物；豆科的砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)(55次)、劲直黄芪(*Astragalus strictus*)(29次)、拟蒺藜黄芪(*A. tribulifolius*)(16次)、毛瓣棘豆(*Oxytropis sericopetala*)(10次)；禾本科的小画眉草(*Eragrostis minor*)(41次)、白草(*Pennisetum flaccidum*)(40次)、固沙草(*Orinus thoroldii*)(26次)和黑穗画眉草(*E. nigra*)(18次)；紫草科的微孔草(*Microula sikkimensis*)(29次)等。

3.2 物种和样方排序

3.2.1 DCA物种排序

从DCA分析总结表(表2)中可看出，排序轴1的特征值总和是0.65，梯度长度为5.95，物种与环境因子的相关系数约是0.94，排序轴1解释了8%的物种变化。而排序轴2的特征值总和是0.47，梯度长度为5.96，物种与环境因子的相关系数是0.54，与排序轴1一起累计解释了物种组成与环境因子之间关系的13.7%，排序轴2单独解释了5.7%的物种变化。排序轴3和4的各项数据指标总体上都远低于前两者。通过综合分析这些数据信息，表明第1轴和第2轴是最能反映群落物种组成变化的环境梯度。物种在DCA二维空间上的排序显示(图1)，像华扁穗草(*Blymus sinocompressus*)、赖草(*Leymus secalinus*)、针茅属一种(*Stipa* sp.1)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、藏布红景天(*Rhodiola sangpo-tibetana*)、铺散肋柱花(*Lomatogonium thomsoni*)等都显著出现在DCA第1轴的左侧，这些物种都是高山草原群落的组成成分，主要分布在高海拔(低经度)的雅鲁藏布江源头

区。而薄皮木(*Leptodermis xizangensis*)、皱叶醉鱼草(*Buddleja crispa*)、川西千里光(*Senecio solidagineus*)、绣线菊(*Spiraea* sp.)、三颗针(*Berberis julianae*)、拉拉藤(*Galium* sp.)、拱枝绣线菊(*Spiraea arcuata*)、绢毛蔷薇(*Rosa sericea*)等都出现在第1轴右侧，这些物种大都来自于相对较低海拔(相对高经度)的雅鲁藏布江下游的林缘生境里，表明第1轴是以海拔和经度作为主导因子的环境梯度，经度梯度跟海拔梯度完全反向相偶联(图2)。可见，海拔和经度对于整个河岸植物物种的分布格局起重要作用。

然而，第2轴的环境梯度不像第1轴那么清晰，也很难看出是由哪个单一环境梯度所控制，如平车前(*Plantago depressa*)、灰果蒲公英(*Taraxacum maurocarpum*)等物种被排在第2排序轴的下方，这些物种往往出现在较为潮湿和人为干扰较大的生境里，而像三角草(*Trikeria hookeri*)、紫草一种(*Onosma* sp.)、藏沙蒿等被排在第2排序轴的上方，这些物种一般都出现在偏干沙性土壤生境里和人为干扰较少的草原自然生境内。因此，第2排序轴很可能是跟湿度和干扰等多种环境因子相结合的较为复杂的一种复合梯度。

3.2.2 CCA样方排序

经CCA排序，群落样方在二维排序图上可以明显地划分为5个大的类群，即5种植被类型(图2)，其特征分别描述如下：

(1)分布在较高海拔的高寒草甸或高寒草原植被类型：主要是由各种嵩草(*Kobresia* spp.)群落组成的草甸植被，以及由三角草群落、紫花针茅(*Stipa purpurea*)群落等组成的草原植被，包括被排在CCA第1轴右上侧的样方1–12。

表2 雅鲁藏布江河岸植物群落调查样方的DCA排序分析总结表  
Table 2 Ordination summary of DCA species for the riparian plots along the Yarlung Zangbo River

|  | 排序轴 Axes |       |       |       | 合计<br>Total |
|--|----------|-------|-------|-------|-------------|
|  | 1        | 2     | 3     | 4     |             |
| 特征值总和 Eigenvalues  | 0.65     | 0.47  | 0.31  | 0.22  |             |
| 梯度长度 Length of gradient  | 5.95     | 5.96  | 3.26  | 2.61  |             |
| 物种与环境相关关系 Species–environment correlation  | 0.94     | 0.54  | 0.62  | 2.61  |             |
| 物种数据累计变异百分率 Cumulative percentage variance of species data                         | 8.00     | 13.70 | 17.60 | 20.30 |             |
| 物种与环境关系累计变异百分率 Cumulative percentage variance of species– environment relationship | 37.5     | 65.00 | 79.90 | 92.40 |             |
| 特征值总和 Sum of all eigenvalues   |          |       |       |       | 8.13        |
| 典范特征值总和 Sum of all canonical eigenvalues   |          |       |       |       | 1.72        |

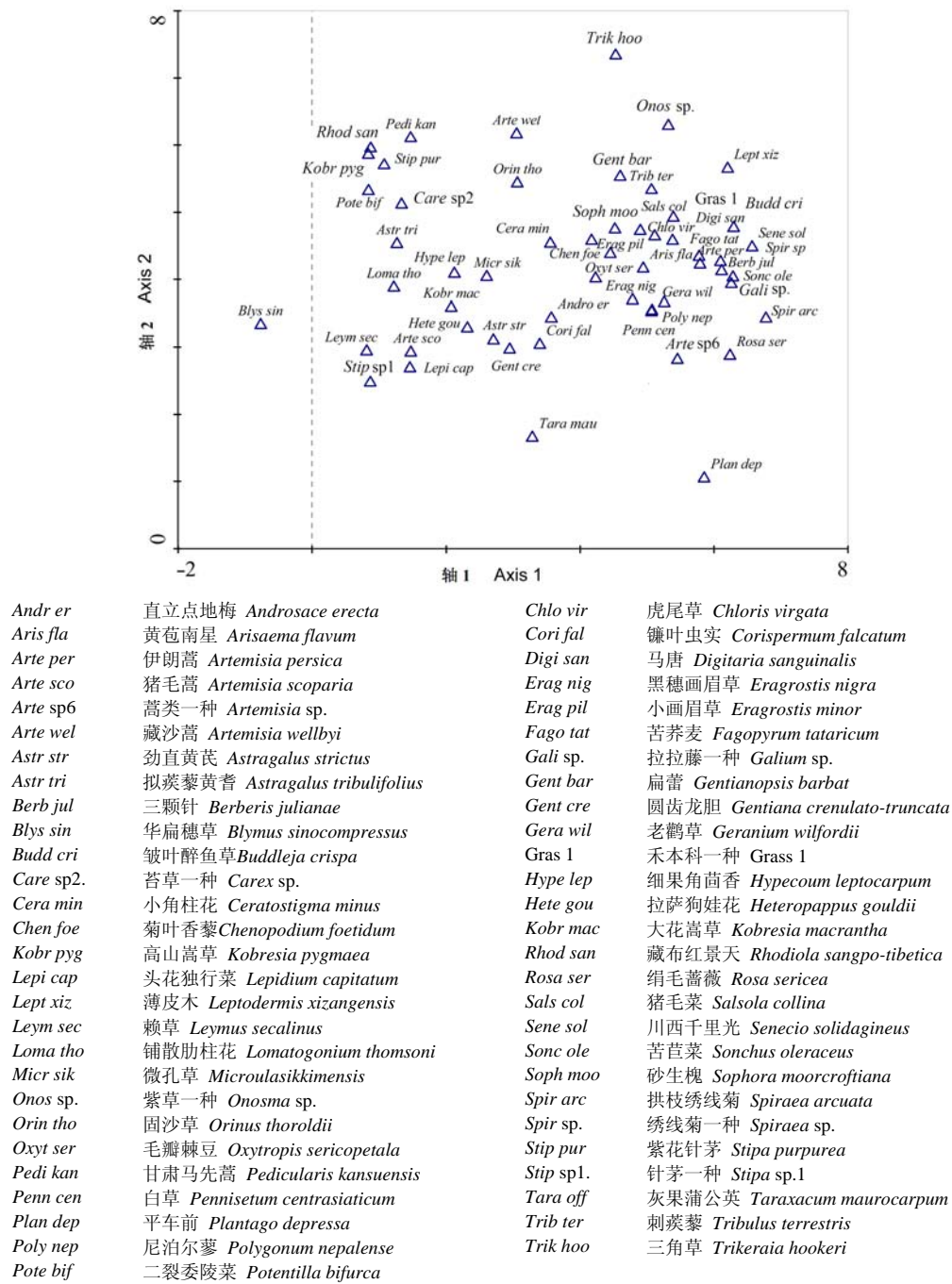


图1 雅鲁藏布江河岸植物物种DCA排序图。样方中出现频率很低的物种未在图中显示。  
Fig. 1 DCA species ordination for the riparian plots along the Yarlung Zangbo River. Species with low frequency have been removed from the diagram.

(2)以青藏苔草(*Carex moocroftii*)、固沙草、藏沙蒿等为主形成的高山草原群落: 如被排在第1轴右下角的样方13-18。

(3)亚高山灌丛草原: 这一类型分布最广, 主要覆盖区包括拉孜、日喀则、尼木、曲水、乃东等县

流域。整个调查样方的73%(样方19-84)属于这一植被类型。主要由砂生槐群落、白草群落和劲直黄芪群落等组成。局部还有藏沙蒿群落、固沙草和其他蒿属草原群落。这些样方占据着CCA第1排序轴的中稍偏左的大部分空间。

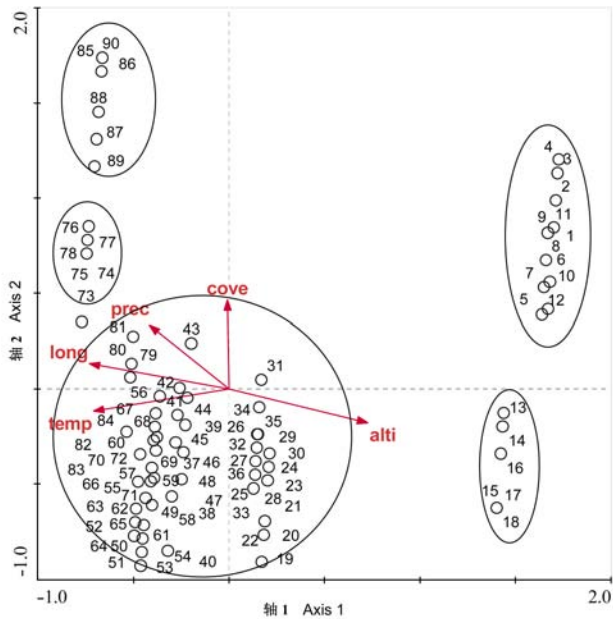


图2 雅鲁藏布江流域河岸植物群落调查样方CCA排序图。图中数字表示样方号(样方号的详细信息见表1), 为了使图更为清晰少数样方未在图中展示。  
Fig. 2 CCA ordination for the surveyed riparian plots along the Yarlung Zangbo River. The numbers represent plot No. (detail information for each plot number see Table 1). Some plots have been removed from the diagram for clarity. alti = altitude, long = longitude, temp = temperature, prec = precipitation, cove = cover.

(4)伊朗蒿、薄皮木和皱叶醉鱼草组成的亚高山灌丛草原: 包括被排在第1轴左上角的样方73-78, 主要分布区在下游加查县一带河谷流域。

(5)分布于雅鲁藏布江下游段的次生林和林缘灌丛草原植被: 主要优势种有高山松(*Pinus densata*)、绢毛蔷薇、毛叶绣线菊(*Spiraea mollifolia*)和川西千里光等, 在CCA图上主要被排在第1轴最左上角的样方85-90。

从CCA排序结果(图2和表3)可以看出, CCA排序轴1的特征值总和是0.60, 物种与环境因子的相关系数约是0.97, 排序轴1解释了物种总数据的7.3%的变化。而排序轴2的特征值总和是0.44, 物种与环境因子的相关系数是0.90, 与排序轴1一起累计解释了物种组成与环境因子之间关系的12.7%。这些数据信息表明, CCA排序第1轴和第2轴是最能反映植被类型变化的环境梯度。第1排序轴与海拔、经度的相关性最大, 其相关系数分别为0.94和-0.94(表3和图2), 第1轴与海拔显著正相关, 而与经度成显著负相关; 其次是温度, 相关系数为-0.92, 为显著负相关。而第2排序轴主要与植被盖度成显著正相关, 其相关系数为0.70; 其次, 降雨量也与第2轴正相关关系, 相关系数为0.51。

表3 雅鲁藏布江流域河岸植物群落调查样方CCA排序特征值、累计变异百分率以及环境因子与排序轴的相关关系  
Table 3 Eigenvalues, cumulative variance, and correlation coefficients between CCA axes and environmental factors for the surveyed riparian plots of the Yarlung Zangbo River

|   | 排序轴 Axes |       |       |       | 合计 Total |
|---|----------|-------|-------|-------|----------|
|   | 1        | 2     | 3     | 4     |          |
| 特征值总和 Eigenvalues   | 0.60     | 0.44  | 0.23  | 0.16  | 8.132    |
| 物种与环境相关系数 Species-environment correlation   | 0.97     | 0.90  | 0.88  | 0.82  |          |
| 物种数据累计变异百分率 Cumulative percentage variance of species data                        | 7.30     | 12.70 | 15.60 | 18.00 |          |
| 物种与环境关系累计变异百分率 Cumulative percentage variance of species-environment relationship | 43.4     | 72.3  | 88.3  | 100   |          |
| 海拔 Altitude   | 0.94     | -0.27 | -0.08 | -0.04 |          |
| 年均降雨量 Annual average precipitation  | -0.54    | 0.51  | 0.61  | 0.24  |          |
| 年均温度 Annual average temperature   | -0.92    | -0.18 | 0.18  | 0.29  |          |
| 经度 Longitude  | -0.94    | -0.20 | 0.24  | 0.02  |          |
| 植被盖度 Vegetation cover   | -0.01    | 0.70  | -0.23 | 0.49  |          |

表4 雅鲁藏布江流域5个环境因子之间的相关系数  
Table 4 Coefficients among the five environmental variables of the Yarlung Zangbo River

| 环境因子 Environmental factor | 海拔 Altitude | 降雨量 Precipitation | 温度 Temperature | 植被盖度 Coverage | 经度 Longitude |
|---------------------------|-------------|-------------------|----------------|---------------|--------------|
| 海拔 Altitude               | 1.00        |                   |                |               |              |
| 降雨量 Precipitation         | -0.78*      | 1.00              |                |               |              |
| 温度 Temperature            | -0.87*      | 0.59*             | 1.00           |               |              |
| 植被盖度 Vegetation cover     | -0.15       | 0.26              | 0.02           | 1.00          |              |
| 经度 Longitude              | -0.99*      | 0.75*             | 0.89*          | 0.13          | 1.00         |

\*  $P < 0.01$

表4列出了所调查的5个环境因子之间的相关系数, 其中海拔与经度、温度和降雨量都成显著负相关, 相关系数分别为 $-0.99$ 、 $-0.87$ 和 $-0.78$ , 而经度与降雨量和温度成显著正相关, 相关系数分别为 $0.75$ 和 $0.89$ 。这些数据分析说明海拔和经度梯度的变化是影响研究区内水、热环境条件的主要因素。另外, 降雨量与温度也成显著正相关(相关系数为 $0.59$ )。

### 3.2.3 物种丰富度分布格局

通过回归分析发现, 雅鲁藏布江河岸植物物种

丰富度与海拔显著相关, 其分布格局大致呈浅“U”形分布(图3A,  $P < 0.001$ )。表现出物种丰富度在下游最高、中游偏低、上游略上升的趋势。物种丰富度在低海拔的米林地区( $2,950\text{ m}$ )最高, 但在海拔 $3,170\text{ m}$ (朗县)处急剧降低, 后在海拔 $3,230\text{ m}$ 一带(加查县)又有所升高, 在海拔 $3,550\text{--}3,590\text{ m}$ 的中游区物种丰富度普遍偏低, 随后随海拔升高而又略有升高。物种丰富度与经度成极显著相关(图3B,  $P < 0.001$ ), 其格局与海拔梯度相似, 也呈浅“U”型分布

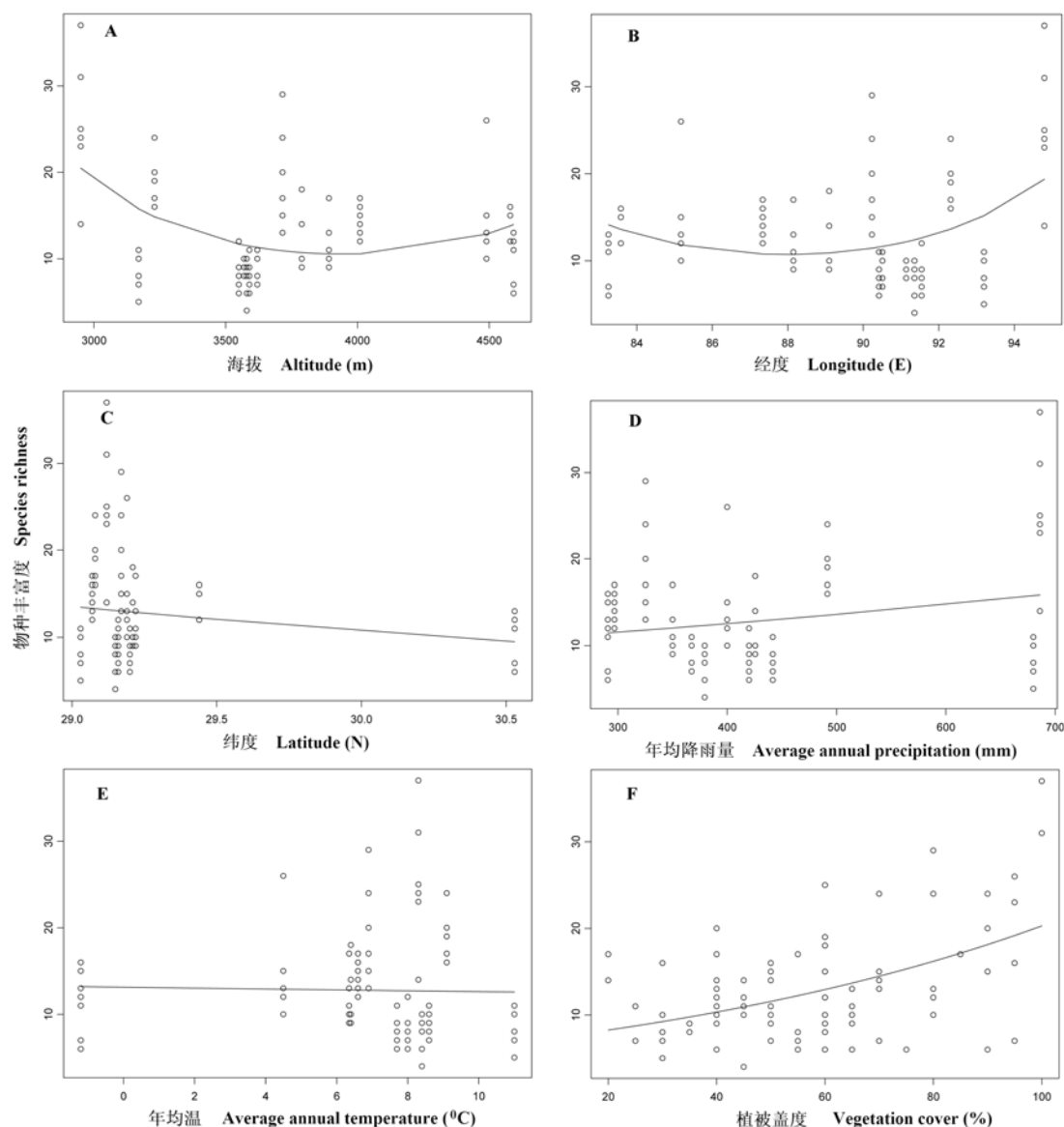


图3 雅鲁藏布江中下游河岸植物物种丰富度与海拔(A)、经度(B)、纬度(C)、年均降雨量(D)、年均温(E)和植被盖度(F)之间的关系。最优拟合线都是根据一次曲线广义线性模型建立, 拟合线A、B和F极显著相关( $P < 0.001$ ), 拟合线D显著相关( $P < 0.05$ ), 拟合线C和E相关不显著。

Fig. 3 Relationships among species richness and altitude (A), longitude (B), latitude (C), average annual precipitation (D), average annual temperature (E) and vegetation cover (F). The fitted line is based on first-order polynomial generalized linear models. Lines A, B, F are highly significant ( $P < 0.001$ ), line D is significant ( $P < 0.05$ ), and line C and E are not significant.



格局,也表现出整个流域中间低、两头偏高的特点。物种丰富度与纬度相关不显著(图 3C,  $P > 0.05$ )。物种丰富度与年均降雨量呈显著相关(图 3D,  $P < 0.05$ ),但与年均温度的相关性不显著(图 3E,  $P > 0.05$ )。另外,物种丰富度与植被盖度极显著正相关(图 3F,  $P < 0.001$ )。

## 4 讨论

### 4.1 物种组成特征和植被类型

除趋势对应分析(DCA)是基于间接分析物种组成连续体的理论(Hill & Cauch, 1980),通过二维空间上的物种排序,有效地揭示物种空间分布格局与环境影响因子的关系。本研究DCA物种排序结果表明,雅鲁藏布江流域河岸植物物种分布格局主要受海拔梯度和经度梯度影响,由海拔和经度变化引起的降雨量、温度条件变化可能是决定整个流域河岸植物群落物种组成发生变化的主要原因。5个环境因子的相关分析(表4)也表明,海拔和经度的变化引起降雨量和温度的显著变化,从而可能影响物种空间上的分布变化。DCA物种空间排序可明显地反映出从低海拔至高海拔(伴随相对高经度至相对低经度)的物种组成空间排列和变化。从物种组成特征来看,在上游地区,随着海拔升高,像高山嵩草、紫花针茅、青藏苔草和垫状点地梅(*Androsace tapete*)、藏布红景天等高山植物成分增多,反映出随着海拔升高物种特有度在增加。有研究表明,在厄瓜多尔地区,随着海拔的升高物种特有度也在逐渐增加(Kessler, 2002)。雅鲁藏布江中游区主要由适应干旱、半干旱气候和偏沙性土壤的灌丛草原植物类型组成,而下游米林县附近植物组成明显反映出林缘植物组成特征。

CCA排序结果较好地划分了植被的5种不同类型,沿海拔和经度梯度较清晰地依次划分出高寒草甸或高寒草原、高山草原、两种亚高山灌丛草原植被和林缘灌丛或次生林植被类型。第1排序轴的海拔由低到高的梯度变化正好是经度由高到低的梯度变化过程(图2),两者相耦联,并互为显著负相关(表4,相关系数-0.99),这与雅鲁藏布江从西向东流向的地形地貌特征相吻合。CCA排序结果表明,由海拔和经度变化引起的降雨量和温度条件变化(图2,表3)可能控制着整个流域植被类型的形成与分布。张新时(1991)对西藏阿里地区植物群落的分析

也表明,植被类型分布主要取决于热量和湿度梯度。其他相关研究也表明,与植被类型变化相关联的最重要的环境梯度是海拔、水分和温度(娄安如, 1998; 杨小林等, 2010; La *et al.*, 2010)。

### 4.2 物种丰富度分布格局

植物物种丰富度沿海拔梯度分布格局常常因不同研究地域而呈现出不同结果(Rahbek, 2005)。本研究结果表明,雅鲁藏布江河岸植物物种丰富度随海拔梯度大致呈浅“U”型分布格局,相似的格局在拉萨河上游山地植物物种丰富度研究中也被发现(La *et al.*, 2010),即物种丰富度在山腰低,在山脚和山顶高,其成因被认为主要与山地灌木植物盖度有关,半山腰高密度灌木使物种丰富度受到影响。但本研究的浅“U”型物种海拔梯度分布格局在一些具体区段上并不是十分符合,如下游(低海拔)朗县一带6个样方的物种丰富度反而很低。表明整个格局的形成除了受海拔梯度引起的水、热条件变化影响外,还可能跟局地小环境特征有密切关系。一般来讲在小尺度或样方尺度上,物种丰富度的分布格局更容易受小生境和局地生物因子作用(如光照、生物竞争和干扰史等)的影响(Whittaker *et al.*, 2001; 于顺利等, 2004)。而上述6个样方位于下游区朗县境内的受大面积保护的灌丛草原围栏内,人畜干扰较少,促进了样方内个别优势种的进一步发展(如薄皮木和砂生槐等),可能抑制了其他小草本植物的生长,造成物种丰富度的降低。因为适度的干扰或中度干扰有利于物种丰富度的提高(Connell, 1978; 吴甘霖等, 2006)。

本研究中的雅鲁藏布江中游区(行政区域上包括从桑日县至曲水县)是山地灌丛草原植被,砂生槐是其植物群落中最重要的建群种(赵文智, 1998)。在浅“U”型海拔梯度分布格局中该区域属于物种最贫乏区段。其可能的原因包括:一是跟该区域气候条件有关,中游区气候以半干旱为特点(沈渭寿, 1997),降水少、多风且土壤蒸发量大(赵鲁青, 2011)<sup>①</sup>,只比较适合砂生槐、藏沙蒿等耐旱植物生长;二是由于样方中砂生槐等优势灌木植被盖度太高,抑制了草本层植物对光照和其他营养资源的利用,造成该区域样方内物种丰富度十分贫乏(图3A,海拔

<sup>①</sup> 赵鲁青 (2011) 雅鲁藏布江中下游区域植被绿期和净初级生产力时空格局及其对气候变化的响应. 硕士论文, 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海.



3,550–3,590 m范围内), 物种最少的样方内只有6个物种(如样方67、68等), 其他研究也指出优势种对样方内物种多样性可以产生强烈影响(方精云等, 2004), 那些植被盖度很高的样方中的物种丰富度较低可能是物种之间对光照竞争的结果(Grace & Pugsek, 1997)。

与中游区相比, 上游高寒草甸或草原群落尽管处于高海拔、高寒生境中, 但由于其样方内没有明显占优势的灌木植物而使物种丰富度相对较高。下游地区由于水、热等生境条件优越(如海拔2,950 m的米林县境内)表现出物种丰富度最高, 样方内物种最高可达37个(如样方84), 表明水、热是影响物种丰富度的最重要因子。物种丰富度与经度梯度的浅“U”型分布格局(图3B)与上述海拔梯度分布格局特征十分吻合, 其成因机制也应该相同, 因为河流从西到东海拔逐渐降低的过程就是经度逐渐升高的过程。尽管物种丰富度一般随纬度的升高而降低是最普遍的格局(Rohde, 1992), 但本研究中此关系不显著, 这主要与雅鲁藏布江流域的纬度梯度跨度不大有关, 整个流域纬度大致处在同一水平上。

物种丰富度与年均降雨量总体上成显著正相关(图3D), 热带地区的研究也发现这种关系(Gentry, 1982)。但是在本研究中, 物种丰富度除了在降雨量接近700 mm的最下游区急剧上升(图3D)外, 其余范围内物种丰富度随降雨量增加而升高的趋势并不十分明显, 甚至在某些范围内反而有降低趋势, 如雨量高达680 mm的朗县境内物种丰富度反而十分贫乏, 这种格局的出现可能也与该局地小生境干扰少、优势种盖度大等有紧密关系。反映出局地小生境确实对物种丰富度产生很大影响, 有时甚至可能超过了气候因子的作用。

另外, 本研究中物种丰富度与年均温度关系不显著。一般来讲, 海拔越高, 温度越低, 物种多样性应更低(唐志尧和方精云, 2004), 但在本研究中, 即使温度随海拔升高而显著降低(相关系数 $-0.87$ ), 也没有发现物种丰富度下降的普遍趋势。这可能也与研究区整个调查样点的纬度梯度小有一定关系, 即纬度引起的温度变化不足以影响物种丰富度的变化。一般来讲, 在更大的环境尺度上温度和水分是影响物种多样性分布格局的重要因素(Whittaker *et al.*, 2001), 但在小尺度上, 如前所述, 物种丰富度更容易受局地生境的影响, 可能在不同尺度影响物

种丰富度分布格局的环境因子有较大的差异(Godfray & Lawton, 2001)。对于长期适应于青藏高原高寒环境的植物来讲, 温度限制作用可能并没有水分那么重要。随着海拔的升高, 物种特有度一般会增加(唐志尧和方精云, 2004), 如上游区出现很多耐寒高山特有植物, 如高山嵩草、紫花针茅、垫状点地梅、青藏苔草和藏布红景天等, 这些物种长期适应于高寒环境, 因此其物种丰富度并没有随温度降低而显著下降。

物种丰富度与生物生产力关系已在很多生物多样性研究中被报道(Guo & Berry, 1998; Grime, 1997; Waide, 1999), 也发现了很多不同类型的关系。其中单峰分布格局是最普遍的一种(Grime, 1997)。但是, 在相关研究中直接测定生产力的方法并不多见, 而更多的是用生物量或植被盖度来替代生产力(Grytnes, 2000; La *et al.*, 2010), 植被盖度有时比生物量能更好地揭示物种丰富度与生产力的关系(Grytnes, 2000)。本研究中我们用植被盖度来分析物种丰富度分布格局, 结果显示, 物种丰富度与植被盖度呈显著正相关关系, 当植被盖度接近100%时物种丰富度达到最高(图3F)。方精云等(2004)在西藏珠峰地区山地植被研究中也发现, 随着植被盖度的增加, 转换物种和转换属的丰富度增加, 他们认为这种格局的出现可能与生境质量有关。植被盖度是各种环境因子综合作用于植物的表现, 因此能够反映局地生境质量的好坏。如本研究中的最下游地区由于水热条件优越, 植被盖度高, 物种丰富度也最高。但是, 如果生境内高植被盖度是由某些单一优势物种所决定, 则物种丰富度反而会降低。如上游的高山嵩草和中游的砂生槐等优势种的盖度大约超过80%时, 样方内物种多样性就明显降低, 说明物种丰富度受物种之间竞争作用的影响(Grace & Pugsek, 1997)。

由于雅鲁藏布江流域东西地理跨度很大, 其河岸植被类型和物种丰富度分布格局在大的尺度上, 除了受环境梯度(主要指海拔和经度)引起的水、热条件变化的综合影响外, 在小尺度上(样方尺度)可能更多地受特定小生境和局地生物作用(如干扰、物种竞争)的影响。因此, 在分析物种丰富度分布格局及其环境解释时, 除了在大尺度上要考虑气候是第一影响因子外, 还应注意在小尺度上其他生态机制的影响, 因为两者有可能同时存在于同一格局机制

中(Liu *et al.*, 2007)并发挥作用。另外, 本研究还没有完全覆盖到雅鲁藏布江最下游物种最丰富的雅鲁藏布江大拐弯地区, 今后还需补充这一区域的调查数据。

## 参考文献

- Acker SA, Gregory SV, Lienkaemper GMW, Swanson FJ, Miller SD (2003) Composition, complexity, and tree mortality in riparian forests in the central western Cascades of Oregon. *Forest Ecology and Management*, **173**, 293–308.
- Braak CJFT (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**, 1167–1179.
- Comprehensive Scientific Expedition Team of Chinese Academy of Sciences in Qinghai-Tibet Plateau (中国科学院青藏高原综合科学考察队) (1988) *Tibetan Vegetation* (西藏植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Connell JH (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199**, 1302–1310.
- Currie DJ (1991) Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *The American Naturalist*, **137**, 27–49.
- Fang JY (方精云), Kanza KM (神崎护), Wang XP (王襄平), Yoda K (依田恭二), Sun SZ (孙世洲), Shimota K (下田胜久) (2004) Community structure of alpine sparse vegetation and effects of microtopography in Pushila, Everest-Choyu region, Tibet, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 190–199. (in Chinese with English abstract)
- Gaston KJ (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature*, **405**, 220–227.
- Gentry A (1982) Patterns of neotropical plants species diversity. *Evolutionary Biology*, **15**, 1–84.
- Godfray HCJ, Lawton JH (2001) Scale and species richness numbers. *Trends in Ecology and Evolution*, **16**, 400–404.
- Gotelli NJ, Colwell RK (2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, **4**, 379–391.
- Grace JB, Pugsek BH (1997) A structural equation model of plant species richness and its application to coastal wetland. *The American Naturalist*, **149**, 436–460.
- Grime JP (1997) The humped-back model: a response to Ok-  
sanen. *Journal of Ecology*, **85**, 97–98.
- Grytnes JA (2000) Fine-scale vascular plant species richness in different alpine vegetation types: relationships with biomass and cover. *Journal of Vegetation Science*, **11**, 87–92.
- Grytnes JA (2003) Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography*, **26**, 291–300.
- Guo Q, Berry WL (1998) Species richness and biomass: dissection of the hump-shaped relationships. *Ecology*, **79**, 2555–2559.
- Halbritter AH, Alexander JM, Edwards PJ, Billeter R (2013) How comparable are species distributions along elevational and latitudinal climate gradients? *Global Ecology and Biogeography*, **22**, 1228–1237.
- He P (何萍), Guo K (郭柯), Gao JX (高吉喜), Shi PJ (史培军), Zhang YZ (张永泽), Zhuang HX (庄红翔) (2005) Vegetation types and their geographic distribution in the source area of the Yarlung Zangbo. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **23**, 267–273. (in Chinese with English abstract)
- Hill MO, Cauch HG (1980) Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, **42**, 47–58.
- Jiménez-Alfaro B, Marcenó C, Bueno Á, Gavilán R, Obeso JR (2014) Biogeographic deconstruction of alpine plant communities along altitudinal and topographic gradients. *Journal of Vegetation Science*, **25**, 160–171.
- Kessler M (2002) The elevational gradient of Andean plant endemism: varying influences of taxon-specific traits and topography at different taxonomic levels. *Journal of Biogeography*, **29**, 1159–1165.
- Kraft NJ, Comita LS, Chase JM, Sanders NJ, Swenson NG, Crist TO, Myers JA (2011) Disentangling the drivers of  $\beta$  diversity along latitudinal and elevational gradients. *Science*, **333**, 1755–1758.
- Kratochwil A (1999) *Biodiversity in Ecosystems: Principles and Case Studies of Different Complexity Levels*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Körner C (2007) The use of ‘altitude’ in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution*, **22**, 569–574.
- Kuglerová L, Jansson R, Ågren A, Laudon H, Malm-Renöfält B (2014) Groundwater discharge creates hotspots of riparian plant species richness in a boreal forest stream network. *Ecology*, **95**, 715–722.
- La Q, Grytnes J-A, Birks HJB (2010) Alpine vegetation and species richness patterns along two altitudinal gradients in the Gyama Valley, south-central Tibet, China. *Plant Ecology and Diversity*, **3**, 235–247.
- Lepš J, Šmilauer P (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, London, UK.
- Li HD (李海东), Shen WS (沈渭寿), Fang Y (方颖), Yan SG (燕守广), Zhang H (张慧), Zhao W (赵卫) (2011) Point pattern analysis of several psammophyte population in the riparian ecotone in the middle reaches of Yarlung Zangbo River of Tibet, China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **35**, 834–843. (in Chinese with English abstract)
- Liu Y, Zhang YP, He DM, Cao M, Zhu H (2007) Climatic control of plant species richness along elevation gradients in the Longitudinal Range-Gorge Region. *Chinese Science Bulletin*, **52** (Suppl.), 50–58.
- Lou AR (娄安如) (1998) Ecological gradient analysis and environmental interpretation of mountain vegetation in the middle stretch of Tianshan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **22**, 364–372. (in Chinese with English abstract)
- MacArthur RH (1972) *Geographical Ecology: Patterns of the*

- Distribution of Species*. Harper & Row, New York.
- McCullagh P, Nelder NJ (1989) *Generalised Linear Models*, 2nd edn. Chapman & Hall, London.
- Miyamoto Y, Nakano T, Hattori M, Nara K (2014) The mid-domain effect in ectomycorrhizal fungi: range overlap along an elevation gradient on Mount Fuji, Japan. *The ISME Journal*, doi: 10.1038/ismej.2014.34
- Nogués-Bravo D, Araújo MB, Romdal T, Rahbek C (2008) Scale effects and human impact on the elevational species richness gradients. *Nature*, **453**, 216–219.
- O'Donnell J, Fryirs K, Leishman MR (2014) Digging deep for diversity: riparian seed bank abundance and species richness in relation to burial depth. *Freshwater Biology*, **59**, 100–113.
- Qian H, Ricklefs RE (2007) A latitudinal gradient in large-scale beta diversity for vascular plants in North America. *Ecology Letters*, **10**, 737–744.
- Rahbek C (2005) The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, **8**, 224–239.
- Rohde K (1992) Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. *Oikos*, **65**, 514–527.
- Sabo JL, Sponseller R, Dixon M, Gade K, Harms T, Heffernan J, Welter J (2005) Riparian zones increase regional species richness by harboring different, not more, species. *Ecology*, **86**, 56–62.
- Shen WS (沈渭寿)(1997) Classification and sorting of the psammophytic vegetation in the middle Yarlung Zangbo River basin, Tibet. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **17**, 169–173. (in Chinese with English abstract)
- Szava-Kovats RC, Ronk A, Pärtel M (2013) Pattern without bias: local-regional richness relationship revisited. *Ecology*, **94**, 1986–1992.
- Tang ZY (唐志尧), Fang JY (方精云) (2004) A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 20–28. (in Chinese with English abstract)
- Visser V, Clayton WD, Simpson DA, Freckleton RP, Osborne CP (2014) Mechanisms driving an unusual latitudinal diversity gradient for grasses. *Global Ecology and Biogeography*, **23**, 61–75.
- Waide RB, Willig MR, Steiner CF, Mittelbach G, Gough L, Dodson SI, Parmenter R (1999) The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **30**, 257–300.
- Walter H (1979) *Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geo-biosphere*. Springer, New York.
- Whittaker RJ, Willis KJ, Field R (2001) Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, **28**, 453–470.
- Willig MR, Kaufman DM, Stevens RD (2003) Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **34**, 273–309.
- Wu GL (吴甘霖), Huang MY (黄敏毅), Duan RY (段仁燕), Zhao K (赵凯) (2006) Disturbing effects of tourism on species diversity in *Pinus taiwanensis* communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **16**, 3924–3929. (in Chinese with English abstract)
- Yang XL (杨小林), Zhao KT (赵垦田), Ma HP (马和平), Lu SH (禄树晖), Luo J (罗健) (2010) Ecological studies on vegetation quantity in the semi-arid valley region of Lasa. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **46**, 15–22. (in Chinese with English abstract)
- Yu SL (于顺利), Ma KP (马克平), Xu CB (徐存宝), Jin SF (金淑芳), Song XB (宋晓兵), Chen LZ (陈灵芝) (2004) The species diversity characteristics comparison of *Quercus mongolica* community along environmental gradient factors. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 2933–2934. (in Chinese with English abstract)
- Zhang DC (张大才), Sun H (孙航) (2009) Research advances in altitudinal gradient distribution pattern of plant species richness at a broad spatial scale. *Journal of Southwest Forestry University* (西南林学院学报), **29**(2), 74–80. (in Chinese with English abstract)
- Zhang XS (张新时) (1991) Indirect gradient analysis, quantitative classification and environmental interpretation of plant communities in Ngari, Xizang (Tibet). *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学报), **15**, 101–113. (in Chinese with English abstract)
- Zhao WZ (赵文智) (1998) A preliminary study of the areneaceous adaptability of *Sophora moorcroftiana*. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **22**, 379–384. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 唐志尧 责任编辑: 周玉荣)

## 附录 Supplementary Material

附图1 沿雅鲁藏布江流域设置的15个海拔样带(每个样带含6个样方)的位置

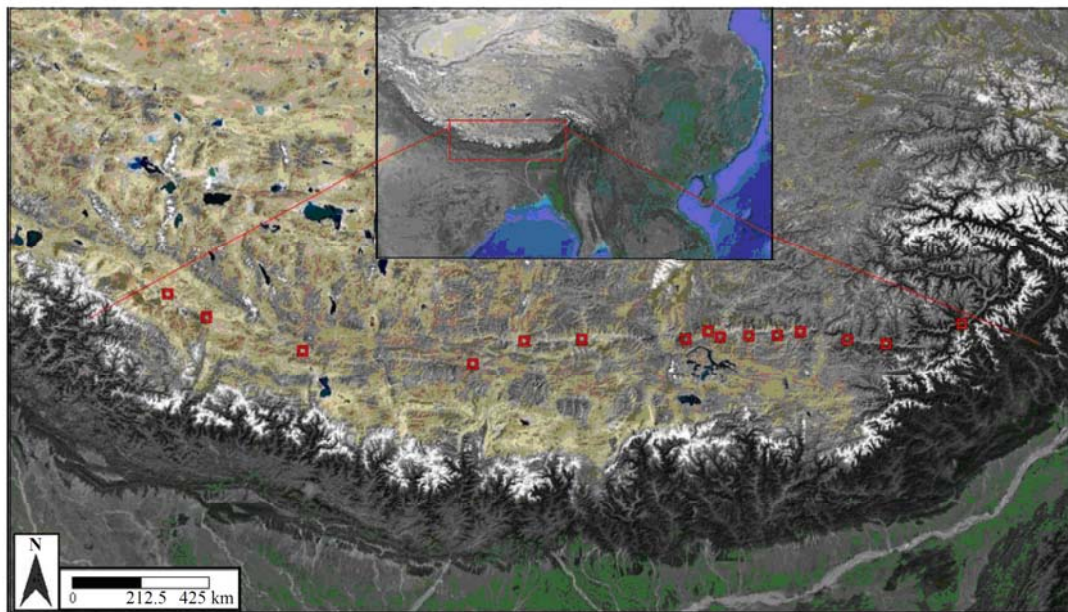
Fig. S1 Locations of the 15 altitudinal transects. Each altitudinal transect contains six plots designed along the Yarlung Zangbo River, Tibet

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2013-186-1.pdf>

附表1 雅鲁藏布江中、上游流域常见种子植物名录(根据哈钦松分类系统排列)

Table S1 List of common seed species in J. Hutchinson System order in the riparian zone of the Yarlung Zangbo River, Tibet

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2013-186-2.pdf>



附图1 沿雅鲁藏布江流域设置的15个海拔样带(每个样带含6个样方)的位置

Fig. S1 Locations of the 15 altitudinal transects. Each altitudinal transect contains six plots designed along the Yarlung Zangbo River, Tibet

附表1 雅鲁藏布江中、上游流域常见种子植物名录(根据哈钦松分类系统排列)

Table S1 List of common seed speices in J. Hutchinson System order in the riparian zone of the Yarlung Zangbo River, Tibet

| 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name                               | 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name                              |
|--------------|---------------------|---|--------------|---------------------|--|
| 松科           | 高山松                 | <i>Pinus densata</i>                            | 十字花科         | 沼泽蔊菜                | <i>Rorippa islandica</i>                       |
| 柏科           | 香柏                  | <i>Sabina pingii</i>                            | 十字花科         | 拟南芥属                | <i>Arabidopsis</i> spp.                        |
| 柏科           | 大果圆柏                | <i>Sabina tibetica</i>                          | 景天科          | 六叶红景天               | <i>Rhodiola sexifolia</i>                      |
| 柏科           | 巨柏                  | <i>Cupressus gigantea</i>                       | 景天科          | 藏布红景天               | <i>Rhodiola sangpo-tibetana</i>                |
| 麻黄科          | 单子麻黄                | <i>Ephedra monosperma</i>                       | 景天科          | 小景天                 | <i>Sedum fischeri</i>                          |
| 杨柳科          | 山杨                  | <i>Poulus davidiana</i>                         | 景天科          | 阔叶景天                | <i>Sedum roborowskii</i>                       |
| 杨柳科          | 藏川杨                 | <i>Populus</i> var. <i>tibetica</i>             | 虎耳草科         | 柱腺茶藨                | <i>Ribes orientale</i>                         |
| 杨柳科          | 清溪杨                 | <i>Populus rotundifolia</i>                     | 蔷薇科          | 光秃绣线菊               | <i>Spiraea mollifolia</i> var. <i>glabrata</i> |
| 杨柳科          | 左旋柳                 | <i>Salix</i> var. <i>suintegra</i>              | 蔷薇科          | 拱枝绣线菊               | <i>Spiraea arcuata</i>                         |
| 杨柳科          | 垂柳                  | <i>Salix babylonica</i>                         | 蔷薇科          | 钝叶栒子                | <i>Cotoneaster hebeophyllus</i>                |
| 杨柳科          | 筐柳                  | <i>Salix cheilophila</i>                        | 蔷薇科          | 金露梅                 | <i>Potentilla fruticosa</i>                    |
| 桦木科          | 白桦                  | <i>Betula platyphylla</i>                       | 蔷薇科          | 钉柱委陵菜               | <i>Potentilla saundersiana</i>                 |
| 桦木科          | 糙皮桦                 | <i>Betula utilis</i>                            | 蔷薇科          | 多裂委陵菜               | <i>Potentilla multifida</i>                    |
| 胡桃科          | 核桃                  | <i>Juglans regia</i>                            | 蔷薇科          | 楔叶委陵菜               | <i>Potentilla cuneata</i>                      |
| 壳斗科          | 川滇高山栎               | <i>Quercus aquifolioides</i>                    | 蔷薇科          | 二裂委陵菜               | <i>Potentilla bifurca</i>                      |
| 荨麻科          | 西藏荨麻                | <i>Urtica tibetica</i>                          | 蔷薇科          | 蕨麻委陵菜               | <i>Potentilla anserina</i>                     |
| 藜科           | 菊叶香藜                | <i>Chenopodium foetidum</i>                     | 蔷薇科          | 砂生地蔷薇               | <i>Chamaerhodos sabulosa</i>                   |
| 藜科           | 猪毛菜                 | <i>Salsola collina</i>                          | 蔷薇科          | 毛叶蔷薇                | <i>Rosa mairei</i>                             |
| 藜科           | 镰叶虫实                | <i>Corispermum falcatum</i>                     | 蔷薇科          | 绢毛蔷薇                | <i>Rosa sericea</i>                            |
| 藜科           | 西藏藜                 | <i>Chenopodium tibeticum</i>                    | 豆科           | 紫苜蓿                 | <i>Medicago sativa</i>                         |
| 蓼科           | 尼泊尔蓼                | <i>Polygonum nepalense</i>                      | 豆科           | 天蓝苜蓿                | <i>Medicago lupulina</i>                       |
| 蓼科           | 西伯利亚蓼               | <i>Polygonum sibiricum</i>                      | 豆科           | 砂生槐                 | <i>Sophora moorcroftiana</i>                   |
| 蓼科           | 苦荞麦                 | <i>Fagopyrum tataricum</i>                      | 豆科           | 毛果葫芦巴               | <i>Trigonella pubescens</i>                    |
| 蓼科           | 尼泊尔酸模               | <i>Rumex nepalensis</i>                         | 豆科           | 毛瓣棘豆                | <i>Oxytropis sericopetala</i>                  |
| 蓼科           | 荞麦                  | <i>Fagopyrum esculentum</i>                     | 豆科           | 藏豆                  | <i>Stracheya tibetica</i>                      |
| 石竹科          | 簇生卷耳                | <i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>trivale</i> | 豆科           | 多茎野豌豆               | <i>Vicia multicaulis</i>                       |
| 石竹科          | 藏西蝇子草               | <i>Silene moorcroftiana</i>                     | 豆科           | 变色锦鸡儿               | <i>Caragana versicolor</i>                     |
| 石竹科          | 改则雪灵芝               | <i>Arenaria gerzeensis</i>                      | 豆科           | 藏北锦鸡儿               | <i>Caragana gerardiana</i>                     |
| 毛茛科          | 日土女娄菜               | <i>Melandrium apricum</i> var. <i>ritu</i>      | 豆科           | 鬼箭锦鸡儿               | <i>Caragana jubata</i>                         |
| 毛茛科          | 露蕊乌头                | <i>Aconitum gymnandrum</i>                      | 豆科           | 长爪黄耆                | <i>Astragalus hendersonii</i>                  |
| 毛茛科          | 腺毛唐松草               | <i>Thalictrum foetidum</i>                      | 豆科           | 劲直黄耆                | <i>Astragalus strictus</i>                     |
| 小檗科          | 三颗针                 | <i>Berberis julianae</i>                        | 豆科           | 拟蒺藜黄耆               | <i>Astragalus tribulifolius</i>                |
| 罂粟科          | 细果角茴香               | <i>Hypecoum leptocarpum</i>                     | 豆科           | 圆叶黄耆                | <i>Astragalus orbicularifolius</i>             |
| 罂粟科          | 淡黄堇菜                | <i>Viola flavida</i>                            | 豆科           | 小叶棘豆                | <i>Oxytropis microphylla</i>                   |
| 罂粟科          | 锥花黄堇                | <i>Corydalis thyrsoflora</i>                    | 豆科           | 披针叶黄华               | <i>Thermopsis lanceolata</i>                   |
| 罂粟科          | 细果角茴香               | <i>Hypecoum leptocarpum</i>                     | 豆科           | 浪卡子岩黄耆              | <i>Hedysarum nagarzense</i>                    |
| 十字花科         | 异蕊芥                 | <i>Dimorphostemon pinnatus</i>                  | 牻牛儿科         | 牻牛儿苗                | <i>Erodium stephanianum</i>                    |
| 十字花科         | 西藏念珠芥               | <i>Torularia tibetica</i>                       | 牻牛儿科         | 老鹳草                 | <i>Geranium wilfordii</i>                      |
| 十字花科         | 藏芥                  | <i>Phaeonychium parryoides</i>                  | 蒺藜科          | 蒺藜                  | <i>Tribulus terrestris</i>                     |
| 十字花科         | 宽叶独行菜               | <i>Lepidium latifolium</i>                      | 堇菜科          | 淡黄堇菜                | <i>Viola flavida</i>                           |
| 十字花科         | 头花独行菜               | <i>Lepidium capitatum</i>                       | 瑞香科          | 甘遂                  | <i>Stellera chamaejasme</i>                    |
| 胡颓子科         | 江孜沙棘                | <i>Hippophae gyantsensis</i>                    | 玄参科          | 甘肃马先蒿               | <i>Pedicularis kansuensis</i>                  |
| 柳叶菜科         | 锡金柳叶菜               | <i>Epilobium sikkimense</i>                     | 玄参科          | 扭盔马先蒿               | <i>Pedicularis oliveriana</i>                  |
| 伞形科          | 窄竹叶柴胡               | <i>Bupleurum marginatum</i>                     | 苦苣苔科         | 卷丝苣苔                | <i>Corallodiscus kingianus</i>                 |
| 伞形科          | 垫状棱子芹               | <i>Pleurospermum</i>                            | 紫葳科          | 藏菠萝花                | <i>Incarvillea younghusbandii</i>              |
| 伞形科          | 田葛缕子                | <i>Carum buriaticum</i>                         | 车前科          | 平车前                 | <i>Plantago depressa</i>                       |
| 伞形科          | 密瘤瘤果芹               | <i>Trachydium verrucosum</i>                    | 茜草科          | 小叶野丁香               | <i>Leptodermis microphylla</i>                 |
| 报春花科         | 直立点地梅               | <i>Androsace erecta</i>                         | 茜草科          | 西南野丁香               | <i>Leptodermis purdomii</i>                    |

| 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name                              | 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name                                |
|--------------|---------------------|--|--------------|---------------------|--|
| 报春花科         | 西藏点地梅               | <i>Androsace mariae</i>                        | 茜草科          | 薄皮木                 | <i>Leptodermis xizangensis</i>                   |
| 报春花科         | 垫状点地梅               | <i>Androsace tapete</i>                        | 忍冬科          | 毛花忍冬                | <i>Lonicera trichosanthes</i>                    |
| 报春花科         | 禾叶点地梅               | <i>Androsace graminifolia</i>                  | 茜草科          | 拉拉藤一种               | <i>Galium</i> sp.                                |
| 报春花科         | 弯花点地梅               | <i>Androsace cernua</i>                        | 桔梗科          | 西南风铃草               | <i>Campanula colorata</i>                        |
| 报春花科         | 海乳草                 | <i>Glaux maritima</i>                          | 菊科           | 昆仑蒿                 | <i>Artemisia nanschanica</i>                     |
| 蓝雪科          | 荆苞紫金标               | <i>Ceratostigma ulicinum</i>                   | 菊科           | 猪毛蒿                 | <i>Artemisia scoparia</i>                        |
| 蓝雪科          | 小角柱花                | <i>Ceratostigma minus</i>                      | 菊科           | 大花蒿                 | <i>Artemisia macrocephala</i>                    |
| 木樨科          | 素方花                 | <i>Jasminum officinale</i>                     | 菊科           | 藏白蒿                 | <i>Artemisia younghusbandii</i>                  |
| 马钱科          | 戟叶醉鱼草               | <i>Buddleja hastata</i>                        | 菊科           | 冻原白蒿                | <i>Artemisia stracheyi</i>                       |
| 马钱科          | 皱叶醉鱼草               | <i>Buddleja crispa</i>                         | 菊科           | 小球花蒿                | <i>Artemisia moorcroftiana</i>                   |
| 龙胆科          | 圆齿龙胆                | <i>Gentiana crenulato-truncata</i>             | 菊科           | 藏沙蒿                 | <i>Artemisia wellbyi</i>                         |
| 龙胆科          | 麻花艸                 | <i>Gentiana straminea</i>                      | 菊科           | 伊朗蒿                 | <i>Artemisia persica</i>                         |
| 龙胆科          | 铺散肋柱花               | <i>Lomatogonium thomsoni</i>                   | 菊科           | 臭蒿                  | <i>Artemisia hedinii</i>                         |
| 龙胆科          | 湿生扁蕾                | <i>Gentianopsis paludosa</i>                   | 菊科           | 二色香青                | <i>Anaphalis bicolor</i>                         |
| 龙胆科          | 扁蕾                  | <i>Gentianopsis barbat</i>                     | 菊科           | 美叶藏菊                | <i>Dolomiaea calophylla</i>                      |
| 龙胆科          | 毛萼獐牙菜               | <i>Swertia hispidicalyx</i>                    | 菊科           | 毛香火绒草               | <i>Leontopodium stracheyi</i>                    |
| 龙胆科          | 小毛萼獐牙菜              | <i>Swertia hispidicalyx</i> var. <i>minima</i> | 菊科           | 灰果蒲公英               | <i>Taraxacum maurocarpum</i>                     |
| 紫草科          | 微孔草                 | <i>Microula sikkimensis</i>                    | 菊科           | 西藏还羊参               | <i>Crepis tibetica</i>                           |
| 紫草科          | 长叶微孔草               | <i>Microula trichocarpa</i>                    | 菊科           | 西藏蒲公英               | <i>Taraxacum tibetanum</i>                       |
| 紫草科          | 西藏微孔草               | <i>Microula tibetica</i>                       | 菊科           | 拉萨狗娃花               | <i>Heteropappus gouldii</i>                      |
| 紫草科          | 丛茎滇紫草               | <i>Onosma waddellii</i>                        | 菊科           | 青藏狗娃花               | <i>Heteropappus boweri</i>                       |
| 紫草科          | 密花毛果草               | <i>Lasiocaryum densiflorum</i>                 | 菊科           | 小白酒草                | <i>Conyza canadensis</i>                         |
| 唇形科          | 高原香薷                | <i>Elsholtzia feddei</i>                       | 菊科           | 铺散亚菊                | <i>Ajania khartensis</i>                         |
| 唇形科          | 密花香薷                | <i>Elsholtzia densa</i>                        | 菊科           | 头花独行菜               | <i>Lepidium capitatum</i>                        |
| 唇形科          | 匍匐风轮菜               | <i>Clinopodium repens</i>                      | 菊科           | 木根香青                | <i>Anaphalis xylorhiza</i>                       |
| 唇形科          | 螃蟹甲                 | <i>Phlomis younghusbandii</i>                  | 菊科           | 牛膝菊                 | <i>Galinsoga parviflora</i>                      |
| 唇形科          | 白花枝子花               | <i>Dracocephalum heterophyllum</i>             | 菊科           | 苦苣菜                 | <i>Sonchus oleraceus</i>                         |
| 唇形科          | 穗花荆芥                | <i>Nepeta laevigata</i>                        | 菊科           | 川西千里光               | <i>Senecio solidagineus</i>                      |
| 唇形科          | 粘毛鼠尾草               | <i>Salvia roborowskii</i>                      | 菊科           | 同色香青                | <i>Anaphalis bicolor</i> var. <i>subconcolor</i> |
| 唇形科          | 川藏香茶菜               | <i>Rabdosia pseudo-irrorata</i>                | 菊科           | 臭蚤草                 | <i>Pulicaria insignis</i>                        |
| 茄科           | 龙葵                  | <i>Solanum nigrum</i>                          | 菊科           | 尼泊尔大丁草              | <i>Leibnitzia nepalensis</i>                     |
| 茄科           | 山莨菪                 | <i>Anisodus tanguticus</i>                     | 菊科           | 拉萨雪兔子               | <i>Saussurea kingii</i>                          |
| 茄科           | 颠茄                  | <i>Atropa belladonna</i>                       | 菊科           | 山苦荬                 | <i>Ixeris chinensis</i>                          |
| 玄参科          | 齿叶玄参                | <i>Scrophularia dentata</i>                    | 菊科           | 秋鼠曲草                | <i>Gnaphalium hypoleucum</i>                     |
| 玄参科          | 肉果草                 | <i>Lancea tibetica</i>                         | 菊科           | 鼠曲草                 | <i>Gnaphalium affine</i>                         |
| 菊科           | 无茎黄鹌菜               | <i>Youngia simulatrix</i>                      | 禾本科          | 藏布三芒草               | <i>Aristida tsangpoensis</i>                     |
| 菊科           | 细梗黄鹌菜               | <i>Youngia gracilipes</i>                      | 禾本科          | 白草                  | <i>Pennisetum flaccidum</i>                      |
| 菊科           | 风毛菊                 | <i>Saussurea stoliczkaei</i>                   | 禾本科          | 虎尾草                 | <i>Chloris virgata</i>                           |
| 禾本科          | 矮草沙蚕                | <i>Tripogon humilis</i>                        | 禾本科          | 马唐                  | <i>Digitaria sanguinalis</i>                     |
| 禾本科          | 垂穗披碱草               | <i>Elymus nutans</i>                           | 莎草科          | 细秆蔗草                | <i>Scirpus setaceus</i>                          |
| 禾本科          | 紫花针茅                | <i>Stipa purpurea</i>                          | 莎草科          | 日喀则嵩草               | <i>Kobresia prainii</i>                          |
| 禾本科          | 丝颖针茅                | <i>Stipa capillacea</i>                        | 莎草科          | 大花嵩草                | <i>Kobresia macrantha</i>                        |
| 禾本科          | 固沙草                 | <i>Orinus thoroldii</i>                        | 莎草科          | 矮生嵩草                | <i>Kobresia macrantha</i>                        |
| 禾本科          | 中亚早熟禾               | <i>Poa litwinowiana</i>                        | 莎草科          | 喜马拉雅嵩草              | <i>Kobresia royleana</i>                         |
| 禾本科          | 赖草                  | <i>Leymus secalinus</i>                        | 莎草科          | 矮生嵩草                | <i>Kobresia macrantha</i>                        |
| 禾本科          | 三角草                 | <i>Trilkeria hookeri</i>                       | 莎草科          | 高山嵩草                | <i>Kobresia pygmaea</i>                          |
| 禾本科          | 垂穗鹅观草               | <i>Roegneria nutans</i>                        | 莎草科          | 华扁穗草                | <i>Blymus sinocompressus</i>                     |
| 禾本科          | 麦宾草                 | <i>Elymus tangutorum</i>                       | 莎草科          | 青藏苔草                | <i>Carex moorcroftii</i>                         |
| 禾本科          | 拂子茅                 | <i>Calamagrotis epigejos</i>                   | 莎草科          | 糙嘴苔草                | <i>Carex scabrioris</i>                          |

| 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name        | 科名<br>Family | 中文名<br>Chinese name | 拉丁名<br>Latin name               |
|--------------|---------------------|--------------------------|--------------|---------------------|---------------------------------|
| 禾本科          | 旱雀麦                 | <i>Bromus tectorum</i>   | 天南星科         | 黄苞南星                | <i>Arisaema flavum</i>          |
| 禾本科          | 落芒草                 | <i>Oryzopsis munroi</i>  | 百合科          | 卷叶黄精                | <i>Polygonatum cirrhifolium</i> |
| 禾本科          | 小画眉草                | <i>Eragrostis minor</i>  | 百合科          | 西藏天门冬               | <i>Asparagus tibeticus</i>      |
| 禾本科          | 黑穗画眉草               | <i>Eragrostis nigra</i>  | 百合科          | 穗花韭                 | <i>Milula spicata</i>           |
| 禾本科          | 棒头草                 | <i>Polypogon fugax</i>   | 百合科          | 粗根韭                 | <i>Allium fasciculatum</i>      |
| 禾本科          | 草地早熟禾               | <i>Poa pratensis</i>     | 百合科          | 青甘韭                 | <i>Allium przewalskianum</i>    |
| 禾本科          | 西藏早熟禾               | <i>Poa tibetica</i>      | 鸢尾科          | 锐果鸢尾                | <i>Iris goniocarpa</i>          |
| 禾本科          | 中亚早熟禾               | <i>Poa litwinowiana</i>  | 兰科           | 西藏阔蕊兰               | <i>Peristylus elisabethae</i>   |
| 禾本科          | 洽草                  | <i>Koeleria cristata</i> |              |                     |                                 |