植被分布的海拔与纬度相互关系模式的校正

周婉诗¹, 张楚婷¹, 周志平², 周婷^{1*}

1. 中山大学生命科学学院, 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275;

2. 广东省天井山林场, 广东天井山国家森林公园管理处, 韶关 512726

* 联系人: E-mail: zhout32@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2019-12-22; 接受日期: 2020-03-29; 网络版发表日期: 2020-07-13

国家科技基础性工作专项“《中国植被志》编研”项目(批准号: 2015FY210200-13)、广州市珠江科技新星项目(批准号: 201806010150)、广东省省科技计划项目(批准号: 2018A030321013)和广东省促进经济发展专项(海洋经济发展用途)(批准号: GDME-2018E002, GDOE[2019]A50)资助

摘要 植被的自然分布格局是植物与环境在长期共同进化中形成的, 理解分布格局规律是管理和利用植被的基础. 植被分布受温度、热量和水分的影响, 其中温度影响最大. 植被分布受植物生长三基点影响, 存在分布上限、分布下限以及最适分布区, 其中上限和下限影响其分布范围. 一直以来, 植被分布状况在海拔升高与纬度的北移具有等效意义这一理论模型都被广泛认可, 但该模型的量化分析仍可进一步完善. 本文基于文献数据, 收集了我国42座山体不同植被类型海拔分布上限的资料, 并通过数据处理软件R对植被类型所处纬度、温度与其分布海拔进行拟合后发现, 植被分布上限在海拔上的升高与纬度的北移并不呈现简单的线性关系. 另通过30个相同经度、相同海拔、不同纬度的样点来验证纬度与温度的关系, 选取相同经度、不同纬度的三个山地样点不同海拔的温度变化来验证海拔与温度的关联. 拟合后发现, 纬度北移1°温度下降约0.7°C, 海拔每上升100 m, 大尺度拟合结果为温度下降约0.3°C, 小尺度实测数据结果为下降约0.8°C. 以上结果表明, 海拔的升高并非简单等效于纬度的北移, 在利用原有的海拔升高等效于纬度的北移这一理论模型指导实际工作时, 要考虑到具体的小气候等因素.

关键词 植被垂直分布, 海拔与纬度, 温度与纬度, 小气候

植被的分布呈现出明显的地带性变化. 典型的地带性分异规律包括: 以热量为基础的纬度地带性、以水分为基础的经度地带性、以水热状况为基础且以海拔为影响因素的垂直地带性等. 垂直地带性分异的表现使得山地在较小的尺度内呈现出较为丰富的景观, 对山地垂直带谱的研究为人们认识复杂的山地环境、进行各项相关研究都提供了极大方便.

人们前期对植被垂直带的研究重点在于总结结构特征及变化规律^[1], 同时也大量关注垂直带谱的定性

研究和地带性规律的探索^[2], 并主要在以下几个方面获得进展: 山地植被的基带为当地典型的植被带, 在不同的水平地带(纬度地带和干燥度地带)内, 有不同的植被垂直带结构, 其垂直基带、垂直带数目、各带分布高度、优势垂直带等都各异. 这说明植被垂直地带性是从属于植被水平地带性的. 每一个山地或高原的植被垂直分布系列(即植被垂直带谱)都必然带有地理位置的水平地带痕迹^[1]. 同时, 随着海拔的升高与纬度的增加, 植被类型的变化大体一致, 垂直带可以被

引用格式: 周婉诗, 张楚婷, 周志平, 等. 植被分布的海拔与纬度相互关系模式的校正. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 334–345

Zhou W S, Zhang C T, Zhou Z P, et al. Correction of the relationship between altitude and latitude of vegetation distribution (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 334–345, doi: 10.1360/SSV-2019-0266

看作水平带的缩影. Ohsawa^[3,4]研究发现, 在不同的水平地带内, 山地物种多样性随海拔升高的变化也有所差异, 在热带中物种多样性随海拔升高迅速降低, 而在温带中则变化较少.

纬度的变化会影响山地植被的垂直带分布特征. 山体每北移一个地带性植被带就会失去一个原有的垂直基带, 同时每个植被类型的分布高度会逐渐降低^[1], 且带幅也会缩小^[5]. 同样是山地暗针叶林, 在玉山、大别山和长白山上分布的海拔高度呈现随纬度增加而海拔降低的趋势, 与上述规律相符^[1]. 林线高度也在水平地带上呈现一定规律, 由赤道向极地, 高山林线出现的海拔逐渐降低^[6]. 气候如何影响植被分布的范围可以通过模型来预测, 如Holdridge模型和Box模型可利用给定的温度、降水量、蒸散比等气候条件推出植被类型^[7]. DGVM模型能从气候模型模拟提供的温度、降水量及辐射从而模拟植被分布状况^[8]. 倪健^[9]验证了反映热量和湿度对植被分布的影响的Kira指数. 方精云^[10]提出温暖指数与我国植被分布的关系. 周广胜和张新时^[11]认为区域潜在蒸散是气候-植被分布的重要综合指标.

植被分布的纬度与海拔的量化可以理解: 海拔每升高100 m温度下降0.6℃, 而纬度每北移1°温度下降0.5~0.6℃^[12]. 因此一般认为, 纬度的上升与海拔的上升具有等效关联效应, 该模型描述了植被类型在海拔分布的上限随纬度的增加而逐渐降低. 但截至目前, 人们对植被垂直分布理论进行的量化分析研究, 多停留在利用气象站获得的数据和温度直减率分析不同海拔的温度对植被分布的影响^[9,10], 山地温度直减率与温度沿纬度变化是否相同, 以及植被沿海拔的分布规律与沿纬度的分布规律是否相同仍有待证实. 本团队在对国内大量山体植被分布数据进行整合处理后发现, 结果并未与传统模型完全一致. 由此提出, 在植被垂直带与水平带的关联方面, 海拔的升高是否与纬度的上升具有等效意义, 即同一植被类型的分布上限是否随纬度的升高而降低? 这种规律的形成是否与温度有所关联?

1 研究方法

1.1 植被类型分布范围数据收集

针对不同类型植被在纬度及海拔的分布差异, 本

团队以山地植被、垂直分布为关键词, 在中国知网、万方等数据库搜索已发表文献^[13~48], 共收集国内42座山地的植被分布的数据(表1, 网络版附件1), 包括每种植被类型及其所分布海拔的最大值. 经纬度则通过GPSpg(www.gpspg.com)统一收集.

整理数据后, 选取文献中大多数山体出现的6种植被类型——常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林和草甸. 在部分文献中, 针叶林、草甸这两种分布至山顶但未标明最高值的数据, 因此将利用Google Earth取得的山体最高海拔作为植被类型分布最高值.

1.2 温度数据收集

温度数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>). 选用中国1 KM地表温度月合成产品(TERRA星)中的MODLT1M.20151201.CN.LTD.AVG.V2, 为2015年12月的月均温. 为了获得植被类型在海拔分布上限的温度, 在ArcGis10.2中以温度数据图为底图, 并叠加SRTMDem 90M分辨率原始高程数据(digital elevation model, DEM), 以获得各个地表温度的海拔数据值.

为了验证纬度与温度的关联, 本团队在同一经度、同一海拔, 即在中国东部地区沿经度116°, 选取30个同一海拔(600 m)不同纬度的点(表2), 记录其温度数据.

1.3 单一植被类型的数据收集

针叶林广泛分布, 本团队依据《中国植被》^[49]将所收集的山体植被数据中的针叶林分为三类, 最终收集寒温性针叶林14个、温性针叶林13个、暖性针叶林11个, 记录其所在山体、海拔分布上限以及对应海拔的温度.

1.4 海拔与温度的关联研究

为了验证海拔与温度的关联, 本团队选择同一经度(E116°)上三座山地(纬度分别为N24°, N27°, N30°), 记录每座山不同海拔处各个样点的温度. 同时, 选取韶关市乳源县天井山进行实地调查, 从山底到山顶, 每隔100 m的海拔梯度设置一个样点. 各样点保持同一个坡向和坡度. 在一天的同一时刻测量样点的温度、海拔、坡向、经纬度, 拍照.

表 1 42座山地植被分布数据

Table 1 Information on vegetation distribution in 42 mountains

参考文献	纬度(°)	林型分布海拔最大值(m)					
		常绿阔叶林	常绿落叶阔叶混交林	落叶阔叶林	针阔混交林	针叶林	草甸
[13]	35.56	—	—	650	950	1150	—
[14]	31.73	1000	1700	2100	2400	3100	—
[15]	33.72	—	—	2000	2100	2100	2219
[16]	33.48	1830	—	1800	1830	1830	1830
[17]	25.42	1300	1400	—	1300	1500	1540
[18]	34.47	—	—	1650	2153	—	—
[19]	34.52	1200	—	1400	—	—	1512
[15]	34.53	—	—	2000	2100	2100	2413
[15]	35.2	—	—	1800	1900	1929	—
[20]	35.25	—	—	2000	1750	1400	1300
[21]	37.85	—	—	1750	2200	2600	2659
[22]	37.87	—	—	—	1700	2700	2830
[23]	38.72	—	—	1700	—	2600	2450
[24]	38.88	—	—	—	1900	2700	2772
[25]	40.88	—	—	830	1170	1270.5	—
[26]	46.63	—	550	—	1000	1429	—
[27]	29.6	1900	2000	—	2500	3099	—
[28]	32.78	—	1600	2200	—	2917	—
[29]	32.82	—	900	1600	2900	3450	3450
[30]	33.95	—	—	2800	—	3770	3700
[31]	37.3	—	—	2400	2650	—	2650
[32]	38.95	—	—	—	2400	3000	3500
[33]	24.38	1100	—	—	—	1000	—
[34]	25.32	1300	—	1050	1100	1320	—
[35]	27.45	1300	—	1400	—	1500	1918.3
[36]	27.82	1200	1900	—	—	—	2158
[37]	29.67	900	1200	1474	—	1474	—
[38]	30.08	1100	1400	—	1600	1727.6	—
[39]	30.43	700	900	1300	—	—	1342
[39]	30.67	420	850	1100	—	—	1100
[39]	31.12	200	700	1200	—	—	1774
[39]	31.2	400	900	1550	—	—	1729
[40]	31.75	—	600	1500	—	—	1584
[41]	36.25	—	—	1000	—	1400	—
[42]	39.83	—	—	1900	—	—	2035
[43]	40.58	—	—	1400	1700	1800	2000
[44]	24.02	1600	—	2400	2800	3100	3504
[45]	26	—	—	—	3800	2900	3500
[39]	30.1	900	1300	1500	—	—	1485
[46]	30.08	700	1400	1500	—	—	1350
[47]	30.33	950	1200	1350	—	—	—
[48]	47.01	—	—	950	750	900	—

表 2 30个同一海拔(600 m)不同纬度的点**Table 2** 30 points at different latitudes with the same altitude (600 m)

经度(°)	纬度(°)
116.275	23.2
116.279	24.005
116.402	24.542
116.474	27.08
116.257	27.583
116.507	27.727
116.54	27.949
116.462	28.241
116.257	28.309
116.346	29.278
116.361	29.607
116.385	29.821
116.418	30.266
116.439	30.42
116.433	30.611
116.317	30.949
116.367	31.396
116.32	35.26
116.424	35.948
116.421	36.242
116.138	39.842
116.305	40.233
116.534	40.376
116.537	40.441
116.537	40.444
116.201	39.998
116.365	31.492
116.32	31.452
116.441	23.411
116.447	23.888

1.5 数据处理

为获取各植被类型分布海拔随纬度和随温度的变化趋势,以植被类型海拔分布上限为因变量,纬度或温度为自变量;为获取温度在纬度上每北移1°以及在海拔上每上升100 m的变化,以温度为因变量,纬度或海拔为自变量.分别用数据处理软件R中的ggplot2程序包制作散点图并利用geom_smooth函数添加趋势线,标注显著度 R^2 及 P 用以判断拟合程度,计算拟合公式.

2 结果

2.1 植被海拔分布上限与纬度的关联

常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林以及针叶林海拔分布上限均随纬度的升高而降低,而草甸的海拔分布上限则随纬度升高而上升(图1).除草甸外,其他植被类型均与理论模型中“植被类型随纬度升高其分布上限降低”这一观点相符,但每种植被类型分布状况仅呈现一种趋势而并非呈线性关系,并围绕拟合直线上下波动.

2.2 植被海拔分布上限与温度的关联

随温度的升高,常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林及针阔混交林的分布上限上升(图2).而常绿阔叶林、针叶林及草甸的分布上限则随温度上升而有所下降,表明温度可能影响着植被的垂直分布,且对不同植被类型的影响效果有所不同.

2.3 针叶林海拔分布上限与纬度或温度的关联

随纬度升高,三种针叶林分布上限均呈下降趋势,符合理论模型中“随纬度增大分布上限降低”的观点;随温度升高,三种针叶林分布上限均呈上升趋势(图3).其中,暖性针叶林的海拔与温度呈显著正相关($P<0.01$);寒温性针叶林的海拔与纬度呈显著负相关($P<0.01$),与温度呈显著正相关($P<0.01$).温性针叶林的分布海拔与纬度没有显著相关($P>0.05$),仅呈现随纬度增大的下降趋势,而与温度也并非呈显著相关($P>0.05$),仅呈现随温度增大分布上升趋势.

2.4 温度在纬度及海拔上的变化

在中国东部同一经度的范围内,同一海拔不同纬度与温度的关系为显著负相关关系($P<0.01$,图4),温度随纬度增大而降低.纬度每北移1°,温度下降约0.73℃.

遥感获取的数据表明(图5A),同一经度不同纬度的三座山展现出相似的规律,由南到北三座山的温度直减率分别为0.32, 0.41和0.36,即海拔每升高100 m,三座山温度下降分别为0.32℃, 0.41℃, 0.36℃.天井山实地调查结果(图5B)显示,温度与海拔为显著负相关关系($P<0.01$).三个时间点获得的温度直减率分别为0.96, 0.82和0.82,即不同时间点海拔每升高100 m温度

图 1 各植被类型沿海拔分布上限与纬度的关系

Figure 1 The relationship between latitude and upper limit of vegetation distribution along the altitude

图 2 各植被类型沿海拔分布上限与温度的关系

Figure 2 The relationship between temperature and upper limit of vegetation distribution along the altitude

图 3 不同针叶林海拔分布上限与纬度、温度的关系图

Figure 3 The relationship between latitude, temperature and the upper limit of distribution along the altitude in different coniferous forests

图 4 温度沿纬度变化图(注: 图中趋势线斜率 $k=-0.7315$)

Figure 4 Change of temperature along the latitude. (The slope of trend line $k=-0.7315$)

下降分别为 0.96°C , 0.82°C , 0.82°C . 单因素方差分析表明, 遥感数据计算得出的温度直减率与天井山实测温度直减率有显著性差异($F>F_{\text{crit}}$).

3 讨论

3.1 温度在植被分布的海拔与纬度依赖模式校正中作用

传统模型认为, 海拔每升高100 m温度下降 0.6°C ,

而纬度每北移 1° 温度下降 $0.5\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ ^[12], 因此理论上来说, 植被在海拔上的分布差异应与在纬度上的分布差异接近. 本研究发现, 大多数植被类型, 如常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林及针叶林在纬度上的分布与理论具有相同趋势. 但是通过遥感数据与实测数据均发现, 在海拔每升高100 m的温度变化并不完全等同于纬度北移 1° 的温度变化, 而其中温度是连接纬度与海拔具有等效关联效应的重要因素.

温度是影响植物生长与分布的重要因素, 在山地生态系统中尤为明显^[50]. 温度能影响植物开花^[51], 影响昆虫生活习性从而波及植物传粉^[52], 进而影响植物的分布; 温度还能影响植物体内的物质合成^[53], 使植物本身对环境适应能力有所改变. 研究发现, 温度随海拔上升和随纬度北移均呈下降趋势. 温度在海拔上的变化呈现近线性关系, 而在纬度上的变化则呈现波动下降的线性关系. 在这样的温度规律影响下, 植被的分布上限在纬度上的变化呈现出与温度规律相似的波动下降的线性关系. 植被水平分布的规律不能直接套用用在垂直分布上^[54], 这一观点在山体生物多样性的研究中也曾提到^[55].

植被-气候关系是植被生态学的核心问题之一, 在

图5 同经度、不同纬度三座山海拔与温度关系(A)和天井山海拔与温度关系(B). (注: 图A中三座山a, b, c的 R^2 、显著度 P 和趋势线斜率 k 分别为a: $R^2=0.8864$, $P<0.01$, $k=-0.0032$; b: $R^2=0.9458$, $P<0.01$, $k=-0.0041$; c: $R^2=0.9362$, $P<0.01$, $k=-0.0036$; 图B中9:30, 13:30, 15:30三个时间点斜率分别为 $k=-0.0096$, $k=-0.0082$, $k=-0.0082$)

Figure 5 The relationship between altitude and temperature of three mountains at the same longitude and different latitudes (A) and the relationship between altitude and temperature of Tianjing mountain (B). (In picture A, R^2 , significance P and trend line slope k of the three mountains (a, b, c) are respectively: a: $R^2=0.8864$, $P<0.01$, $k=-0.0032$; b: $R^2=0.9458$, $P<0.01$, $k=-0.0041$; c: $R^2=0.9362$, $P<0.01$, $k=-0.0036$; in picture B, the slope of 9:30, 13:30, 15:30 are $k=-0.0096$, $k=-0.0082$, $k=-0.0082$)

过去200多年的研究历史中, 无论是以现实植被类型与气候之间相关性为特征的Holdridge生命地带模型^[56], 还是影响植物生理活动的气候因子、作为气候-植被类型分类指标的DOLY模型^[57]和BIOME2模型^[58], 温度和降水都是用来确定植被-气候关系和植被分布格局的决定因子. Pickering和Green^[59]对澳大利亚五座雪山的研究, 以及冯金杰等人^[60]对新疆地区的研究都支持了温度影响植被分布这一观点.

不同的研究对影响植被分布的温度这一因素定义有所不同, 或是以大于生物指数5°C的年积温^[9]作为指标, 或是以月均温作为指标^[61]. 此外, 结果中得出大尺度拟合的山地温度直减率(约0.3°C)与实测山地温度直减率(约0.8°C)不同, 遥感数据可能是某个尺度的平均值, 具体可能受山地走向、地形、气流交汇带等影响^[62]. 这表明, 结合温度直减率来研究山地植被分布格局时应注意选取的时间跨度、季节、地形地貌等因素^[63]. 对于使用哪种温度类型指标作为研究对象有待进一步探索研究. 在大数据时代, 需要通过更高分辨率的遥感及更精确的计算方法等获取更多数据用以验证理论.

3.2 植被类型形成影响因素在植被分布的海拔与纬度依赖模式校正中的影响

植被类型影响着植被的分布格局. 在温度与各植

被海拔分布关系图中, 随温度变化针叶林分布海拔并未呈明显变化趋势, 但在对针叶林细分为三种植被类型后可以发现, 三种针叶林的分布海拔随温度升高都呈现上升趋势, 其中暖性针叶林和寒温性针叶林为显著上升趋势.

植被的发生、发展与环境因素密切相关^[64]. 不同植被类型形成原因不同, 如暖性针叶林喜温暖湿润条件、寒温性针叶林倾向于干燥寒冷的条件等, 导致植被类型的分布规律更杂乱无章. 植被类型的形成因素有所差异, 弄清植被类型的形成原因, 从而正确区分研究对象, 这在植被分布的海拔与纬度依赖模式校正中尤为重要.

3.3 小气候在量化植被分布上限与纬度的关系中的作用

小气候的影响使得植被分布在海拔上的升高并不简单地等效于纬度的北移. 植被在纬度上的分布跨越气候带, 而在一座山地上的垂直分布并不跨越气候带. 尽管气候带沿着纬度的梯度, 遵循一定的规律分布, 但小气候的存在使得在一个气候带范围内出现另一种气候带的特征, 如丹霞地貌造成了沟谷内的小气候, 沟谷内温度与同地区沟谷外区域的温度有所差异, 从而导致在亚热带地区出现热带的小气候环境.

造成这一现象的原因是: 进入沟谷的乱流涡旋体受到阻挠, 交换强度发生变化, 从而导致沟谷内温度与非沟谷区域产生差异^[65]. 有研究^[66]曾对中国亚热带山地植被垂直分布的数据进行整合并指出, 植被垂直带谱与植被水平带分布之间存在差异的原因很多, 其中就包括温度. 局部环境的温度、水分等环境因子的变化主要由小气候导致^[67,68]. 微地形的环境因子也表现出小气候, 从而对植被分布造成影响^[69]. 不同微地形因

子, 如坡度、坡向等使得云南省内不同山地的温度直减率有所差异^[70]. 小气候的影响在雪山^[59]及高原^[71]等较极端的生态环境中尤为明显, 因此小气候的影响不可忽视.

小气候影响局部生态环境的温度, 从而导致植被的海拔分布上限与纬度呈现波动线性关系. 植物区域异质性与温度相关, 人们在对植被进行研究时, 应结合植被所处环境的实际状况和生态环境的相关因子.

致谢 感谢中山大学彭少麟教授对该研究的指导, 感谢广东省天井山林场在野外调查中的帮助!

参考文献

- 1 Liu H X. The vertical distribution of vegetation in mountainous areas of China (in Chinese). *Acta Geograph Sin*, 1981, 3: 267–279 [刘华训. 我国山地植被的垂直分布规律. *地理学报*, 1981, 03: 267–279]
- 2 Zhang B P, Zhou H C, Chen S P, et al. Study on the information map of the vertical belt of mountain in China (in Chinese). *Acta Geograph Sin*, 2003, 2: 163–171 [张百平, 周成虎, 陈述彭, 等. 中国山地垂直带信息图谱的探讨. *地理学报*, 2003, 2: 163–171]
- 3 Ohsawa M. Structural comparison of tropical montane rain forests along latitudinal and altitudinal gradients in south and east Asia. *Plant Ecol*, 1991, 97: 1–10
- 4 Ohsawa M. Latitudinal comparison of altitudinal changes in forest structure, leaf-type, and species richness in humid monsoon Asia. *Vegetatio*, 1995, 121: 3–10
- 5 Fang J Y, Shen Z H, Cui H T, et al. On the ecological characteristics of mountain and the research content of mountain ecology (in Chinese). *Biodivers Sci*, 2004, 1: 10–19 [方精云, 沈泽昊, 崔海亭, 等. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. *生物多样性*, 2004, 1: 10–19]
- 6 Dai J H, Cui H T. A review of research on mountain forest lines at home and abroad (in Chinese). *Sci Geograph Sin*, 1999, 19: 243–249 [戴君虎, 崔海亭. 国内外高山林线研究综述. *地理科学*, 1999, 19: 243–249]
- 7 Wang L X, Yang Y L, He H Y, et al. Study on the relationship between climate change and vegetation (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2003, 1: 43–48 [王连喜, 杨有林, 何雨红, 等. 气候变化和植被关系研究方法探讨. *生态学杂志*, 2003, 1: 43–48]
- 8 Wang X F, Ma M G, Yao H. Research progress on dynamic global vegetation models (in Chinese). *Remote Sens Technol Appl*, 2009, 2: 134–139 [王旭峰, 马明国, 姚辉. 动态全球植被模型的研究进展. *遥感技术与应用*, 2009, 2: 134–139]
- 9 Ni J. The expansion of KIRA index and its application in the study of the relationship between vegetation and climate in China (in Chinese). *Chin J Appl Ecol*, 1997, 2: 49–58+73 [倪健. KIRA指标的拓展及其在中国植被与气候关系研究中的应用. *应用生态学报*, 1997, 2: 49–58+73]
- 10 Fang J Y. Ecological climatological analysis of forest vegetation zones in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 1991, 4: 87–97 [方精云. 我国森林植被带的生态气候学分析. *生态学报*, 1991, 4: 87–97]
- 11 Zhou G S, Zhang X S. Climate-vegetation classification of global change in China (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 1996, 1: 9–18 [周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候-植被分类研究. *植物学报*, 1996, 1: 9–18]
- 12 Blandford T R, Humes K S, Harshburger B J, et al. Seasonal and synoptic variations in near-surface air temperature lapse rates in a mountainous basin. *J Appl Meteor Climatol*, 2008, 47: 249–261
- 13 Wang S, Qian G Z, Xu J, et al. Species diversity and vertical distribution of plant community in Meng mountain (in Chinese). *Guizhou Agric Sci*, 2011, 7: 42–47 [王帅, 钱关泽, 徐靖, 等. 蒙山植物群落的物种多样性及其垂直分布特征. *贵州农业科学*, 2011, 7: 42–47]
- 14 Hu H F, Zhou Y, Shen Z H, et al. Elevation gradient pattern of plant community diversity on the south slope of Shennongjia (in Chinese). *Biodivers Sci*, 2004, 1: 99–107 [胡会峰, 周宇, 沈泽昊, 等. 神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局. *生物多样性*, 2004, 1: 99–107]
- 15 Kuang S S. The vertical distribution of vegetation in Henan mountains (in Chinese). *J Henan Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 1991, 4: 91–95+120 [邝生舜. 河南山地植被的垂直分布规律. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 1991, 04: 91–95+120]

- 16 Zhang Y M, Wu L, Zhao T S, et al. Study on main vegetation types and vertical distribution in Baotianman nature reserve, Henan Province (in Chinese). *J Henan Agric Univ*, 1996, 2: 178–185 [张益民, 吴立, 赵体顺, 等. 河南宝天曼自然保护区主要植被类型及垂直分布的研究. 河南农业大学学报, 1996, 2: 178–185]
- 17 Dong W D, Xie G W, Liao L, et al. Investigation on the vertical belt spectrum of forest vegetation on the main peak of Tianhua mountain in Yingtan city, Jiangxi Province (in Chinese). *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 1987, 2: 53–56 [董闻达, 谢国文, 廖亮, 等. 江西鹰潭市天华山主峰森林植被垂直带谱的考察. 江西农业大学学报, 1987, 2: 53–56]
- 18 Qin S H. Vegetation and its vertical distribution on the north slope of Hua mountain (in Chinese). *J Inner Mongolia Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 1989, 3: 66–74 [秦树辉. 华山北坡的植被及其垂直分布. 内蒙古师大学报(自然科学版), 1989, 3: 66–74]
- 19 Tian C Y. Vegetation vertical distribution in Song mountain (in Chinese). *J Henan Forest Sci Technol*, 1990, 1: 21–22 [田朝阳. 嵩山植被垂直分布规律. 河南林业科技, 1990, 1: 21–22]
- 20 Ru W M. Study on vegetation and its vertical distribution in the eastern part of Zhongtiao mountain (in Chinese). *J Changzhi Univ*, 2000, 3: 32–39 [茹文明. 中条山东段植被及其垂直分布的研究. 晋东南师范专科学校学报, 2000, 3: 32–39]
- 21 Shangguan T L, Zhang F. Study on vegetation and its vertical distribution in Genting mountain (in Chinese). *J Mount Sci*, 1991, 1: 19–26 [上官铁梁, 张峰. 云顶山植被及其垂直分布研究. 山地研究, 1991, 1: 19–26]
- 22 Li J Z, Teng C D. The vertical distribution of vegetation in Guandi mountain (in Chinese). *J Shanxi Univ (Nat Sci Ed)*, 1979, 1: 144–149 [李继璜, 滕崇德. 关帝山植被的垂直分布. 山西大学学报(自然科学版), 1979, 1: 144–149]
- 23 Zhang J T. Division of vertical vegetation belt in Luya mountain, Shanxi Province (in Chinese). *Sci Geograph Sin*, 1989, 4: 346–353+98 [张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分. 地理科学, 1989, 4: 346–353+98]
- 24 An S W. The vertical distribution of forest vegetation and soil types in Guancen Mountain (in Chinese). *Shanxi Forest Sci Technol*, 1998, 2: 21–23 [安守文. 管涔山森林植被与土壤类型的垂直分布规律. 山西林业科技, 1998, 2: 21–23]
- 25 Song J, Li W, Wang J, et al. Study on the vertical distribution of forest vegetation on the north and south slopes of Baishilazi mountain (in Chinese). *Liaoning Forest Sci Technol*, 2005, 4: 18–21+49 [宋军, 李伟, 王军, 等. 白石砬子山南北坡森林植被垂直分布的研究. 辽宁林业科技, 2005, 4: 18–21+49]
- 26 Pu Z H, Tang G Q, Li P, et al. The vertical belt spectrum of vegetation on the eastern slope of Pingding mountain (in Chinese). *Forest Invest Des*, 1996, 1: 47 [朴志焕, 唐国庆, 李澎, 等. 平项山东坡植被的垂直带谱. 林业勘查设计, 1996, 1: 47]
- 27 Li X G. A preliminary study on the vertical distribution of forest vegetation in Emei mountain, Sichuan Province (in Chinese). *Acta Phytocool et Geobot Sin*, 1984, 1: 52–66 [李旭光. 四川省峨眉山森林植被垂直分布的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1984, 1: 52–66]
- 28 Wang K Y. The Preliminarily investigation on the vertical distribution of forest vegetation in Hualongshan mountain, Shaanxi Province (in Chinese). *Acta Phytocool et Geobot Sin*, 1992, 16: 88–96 [王开运. 陕西省化龙山森林植被垂直分布的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16: 88–96]
- 29 Chen X L, Liang Y, Qi P C, et al. Analysis on the vertical distribution pattern of seed flora in Baishujiang national nature reserve, Gansu Province (in Chinese). *Guihaia*, 2009, 4: 459–465+532 [陈学林, 梁艳, 戚鹏程, 等. 甘肃白水江国家级自然保护区种子植物区系科的垂直分布格局分析. 广西植物, 2009, 4: 459–465+532]
- 30 Li H N. Study on plant species diversity and its vertical distribution pattern on the north slope of Taibai mountain (in Chinese). *Dissertation for Master's Degree*. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2007 [李海宁. 太白山北坡植物物种多样性及其垂直分布格局研究. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学, 2007]
- 31 Xu X M, Dong Y Q. Vegetation vertical zone division in Daluo mountain, Ningxia Province (in Chinese). *Ningxia J Agric*, 2000, 5: 10–11+14 [徐秀梅, 董永卿. 宁夏大罗山植被垂直带划分. 宁夏农林科技, 2000, 5: 10–11+14]
- 32 Du Q, Yan X F. Diversity and spatial distribution of vegetation types in Helan mountain (in Chinese). *J Anhui Agric Sci*, 2010, 7: 3666–3667 [杜茜, 闫兴富. 贺兰山植被类型多样性及空间分布特征. 安徽农业科学, 2010, 7: 3666–3667]
- 33 Liao F L, Yang Q H. Forest vegetation and its vertical distribution in Yinna mountain, Guangdong Province (in Chinese). *Acta Bot Boreali-Occidentalia Sin*, 2006, 2: 393–401 [廖富林, 杨期和. 广东阴那山森林植被及其垂直分布特征. 西北植物学报, 2006, 2: 393–401]
- 34 Li Z Y. Vegetation resources and their vertical distribution in Yunzhong mountain nature reserve, Anxi, Fujian Province (in Chinese). *J Henan Forest Sci Technol*, 2010, 1: 9–12 [李宗耀. 福建省安溪云中山自然保护区植被资源及其垂直分布特征. 河南林业科技, 2010, 1: 9–12]
- 35 Lei B, Yu J L. A preliminary study on the vertical distribution pattern of vegetation in Wugong mountain scenic area of Jiangxi province (in Chinese). *Jiangxi Sci*, 2016, 3: 342–346 [雷波, 余锦龙. 江西省武功山风景名胜植被垂直分布格局的初步研究. 江西科学, 2016, 3: 342–

346]

- 36 Xu H H. Vertical distribution and characteristics of vegetation in Wuyi mountain nature reserve (in Chinese). *Wuyi Sci J*, 2007, 1: 177–180 [徐欢欢. 武夷山自然保护区植被垂直分布与特征. *武夷科学*, 2007, 1: 177–180]
- 37 Zhou J L. Characteristics and vertical distribution of Lushan vegetation (in Chinese). *Technol Life*, 2012, 5: 97 [邹金利. 庐山植被特点与垂直分布. *科技与生活*, 2012, 5: 97]
- 38 Shen Z H, Hu Z W, Zhao J, et al. The vertical distribution of plant diversity in Chinese town of Anhui—also on the influence of mountaintop effect (in Chinese). *Mount Res*, 2007, 2: 160–168 [沈泽昊, 胡志伟, 赵俊, 等. 安徽牯牛降的植物多样性垂直分布特征——兼论山顶效应的影响. *山地学报*, 2007, 2: 160–168]
- 39 Qian X H. Vertical distribution of mountain vegetation in Anhui Province (in Chinese). *J Anhui Norm Univ (Nat Sci)*, 1987, 2: 47–49 [钱啸虎. 安徽省山地植被垂直分布. *安徽师大学报(自然科学版)*, 1987, 2: 47–49]
- 40 Cai Y L, Zhang K Y. Vegetation and its vertical distribution in Jingangtai mountain area of Henan Province (in Chinese). *Plant Sci J*, 1995, 13: 337–343 [蔡永立, 张克永. 河南金岗台山区的植被及其垂直分布. *植物科学学报*, 1995, 13: 337–343]
- 41 Chen H B. Vertical distribution of vegetation in mount tai (in Chinese). *J Shandong Norm Univ (Nat Sci)*, 1959, 2: 47–55 [陈汉斌. 泰山植物垂直分布. *山东师范学院学报(生物版)*, 1959, 2: 47–55]
- 42 Zhu H. Discussion on the method of vertical zoning of vegetation on Dayin slope of Baihua mountain in Beijing (in Chinese). *J Beijing Forest Univ*, 1997, 19: 59–63 [朱华. 北京百花山大阴坡植被垂直分带方法的探讨. *北京林业大学学报*, 1997, 19: 59–63]
- 43 Meng X P. Vertical distribution of vegetation in Mount Wuling (in Chinese). *J Hebei Forest Sci Technol*, 2001, 1: 41–42 [孟祥普. 雾灵山植被垂直分布状况. *河北林业科技*, 2001, 1: 41–42]
- 44 Guo Z K. Vegetation distribution characteristics in yongde snow mountain nature reserve, Yunnan (in Chinese). *Forest Constr*, 2008, 2: 61–64 [郭志坤. 云南永德大雪山自然保护区植被分布特点. *林业建设*, 2008, 02: 61–64]
- 45 Yuan R J, Yang S H, Wang B R, et al. Study on the vertical distribution pattern of vegetation on the eastern slope of Cang mountain (in Chinese). *J Yunnan Univ (Nat Sci Edi)*, 2008, 3: 318–324 [袁睿佳, 杨树华, 王宝荣, 等. 苍山东坡植被垂直分布格局研究. *云南大学学报(自然科学版)*, 2008, 3: 318–324]
- 46 Shao X P. Investigation and analysis of vegetation types and vertical distribution zone spectra in Qingliangfeng nature reserve, Anhui Province (in Chinese). *Anhui Agric Sci Bull*, 2011, 7: 55–56 [邵小平. 安徽清凉峰自然保护区植被类型和垂直分布带谱调查分析. *安徽农学通报*, 2011, 7: 55–56]
- 47 Xia A M. Study on the vertical distribution of vegetation on the south slope of Western Tianmu mountain in Zhejiang Province (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Shanghai: East China Normal University, 2004 [夏爱梅. 浙江西天目山南坡植被垂直分布研究. 硕士学位论文. 上海: 华东师范大学, 2004]
- 48 Li Z B. The vertical distribution and vegetation characteristics of natural forest in Daqing mountain (in Chinese). *Teach Forest Reg*, 2001, 1: 76–77+79 [李志斌. 大青山天然林垂直分布及植被特点. *林区教学*, 2001, 1: 76–77+79]
- 49 Wu Z Y. Chinese Vegetation (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980. 157–247 [吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 157–247]
- 50 Huang Q R. Characteristics of microclimate temperature field in mountain landscape and its influence on the distribution of plants in subalpine meadow zone (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Beijing: Beijing Normal University, 2003 [黄秋如. 山地景观小气候温度场特征及其对亚高山草甸带植物分布的影响. 硕士学位论文. 北京: 北京师范大学, 2003]
- 51 Wang L L, Pang J L, Hu J Q, et al. The effect of temperature on floral formation (in Chinese). *Chin Bull Bot*, 2002, 2: 176–183 [王利琳, 庞基良, 胡江琴, 等. 温度对植物成花的影响. *植物学报*, 2002, 2: 176–183]
- 52 Ma G. Study on the effect of simulated climate warming on the heat-avoidance behavior of wheat aphid and its distribution on plants (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012 [马罡. 模拟气候变暖对麦蚜避热行为及其在植物上分布影响的研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2012]
- 53 Zhang Y D, Wang F Q. Effects of altitude, latitude and temperature on the contents of sunflower fat, fatty acids, proteins and amino acids (in Chinese). *Chin J Oil Crop Sci*, 1993, 1: 65–66+70 [张运达, 王凤琴. 海拔、纬度、温度对向日葵脂肪及脂肪酸、蛋白质及氨基酸含量的影响. *中国油料*, 1993, 1: 65–66+70]
- 54 Zhang J W, Jiang S. A preliminary study on the relationship between the vertical zonation and the horizontal zone of vegetation in Gomolangma region (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 1973, 15: 221–238 [张经伟, 姜恕. 珠穆朗玛峰地区的植被垂直分带及其与水平地带关系的初步研究. *植物学报(英文版)*, 1973, 15: 221–238]

- 55 Körner C. Why are there global gradients in species richness? Mountains might hold the answer. *Trends Ecol Evol*, 2000, 15: 513–514
- 56 Holdridge L R. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 1947, 105: 367–368
- 57 Woodward F I, Williams B G. Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio*, 1987, 69: 189–197
- 58 Prentice K C. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation model studies. *J Geophys Res*, 1990, 95: 11811–11830
- 59 Pickering C M, Green K. Vascular plant distribution in relation to topography, soils and micro-climate at five GLORIA sites in the Snowy Mountains, Australia. *Aust J Bot*, 2009, 57: 189–199
- 60 Feng J J, Zhang H G, Hu X J, et al. Spatial non-stationary characteristics of precipitation and temperature on vegetation cover index: a case study of Yili valley in Xinjiang Province (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2016, 15: 4626–4634 [冯金杰, 张辉国, 胡锡健, 等. 降水量和温度对植被覆盖指数影响的空间非平稳性特征——以新疆伊犁河谷地区为例. *生态学报*, 2016, 15: 4626–4634]
- 61 Liu L L, Xiao F J. Spatial and temporal variation of the relationship between NDVI and temperature and precipitation in the Yellow River basin (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2006, 25: 477–481 [刘绿柳, 肖风劲. 黄河流域植被NDVI与温度、降水关系的时空变化. *生态学杂志*, 2006, 25: 477–481]
- 62 Wang Y X, Zhou R L, Ding K, et al. The vertical and direct reduction rate field of air temperature in yunnan mountains based on remote sensing image of MODIS (in Chinese). *Remote Sens Technol Appl*, 2014, 4: 616–624 [王艳霞, 周汝良, 丁琨, 等. 基于MODIS遥感影像的云南山地气温垂直直减率场. *遥感技术与应用*, 2014, 4: 616–624]
- 63 Fang J Y. Quantitative evaluation of the influence of geographical factors on temperature distribution in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 1992, 12: 97–104 [方精云. 地理要素对我国温度分布影响的数量评价. *生态学报*, 1992, 12: 97–104]
- 64 Fang S B, Tan K Y, Liu J D, et al. Relationship between vegetation coverage distribution and environmental factors in Ordos (in Chinese). *Chin J Plant Ecol*, 2009, 1: 33 [房世波, 谭凯炎, 刘建栋, 等. 鄂尔多斯植被盖度分布与环境因素的关系. *植物生态学报*, 2009, 1: 33]
- 65 Peng S L, Li F R, Zhou T, et al. The ecological effect of Danxia ravine (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2008, 7: 2947–2953 [彭少麟, 李富荣, 周婷, 等. 丹霞地貌沟谷生态效应. *生态学报*, 2008, 7: 2947–2953]
- 66 Liu Y L, Guo R Q, Sun S C, et al. Response of vegetation distribution in vertical zone of subtropical mountains in China to seasonal climate (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2010, 14: 3912–3922 [刘亚兰, 郭汝清, 孙书存, 等. 中国亚热带山地植被垂直带分布对气候季节性的响应. *生态学报*, 2010, 14: 3912–3922]
- 67 Lu B C, Xue Z D, Zhu Q K, et al. Study on soil moisture distribution in microtopography of arid sunny slope and semi-sunny slope (in Chinese). *Bull Soil Water Conserv*, 2009, 29: 62–65 [路保昌, 薛智德, 朱清科, 等. 干旱阳坡半阳坡微地形土壤水分分布研究. *水土保持通报*, 2009, 29: 62–65]
- 68 Wang J, Zhu Q K, Qin W, et al. Difference of the vegetation characteristics on the slope of the closed watershed in the loess region of northern Shanxi (in Chinese). *Chin J Appl Ecol*, 2012, 3: 694–700 [王晶, 朱清科, 秦伟, 等. 陕北黄土区封禁流域坡面微地形植被特征分异. *应用生态学报*, 2012, 3: 694–700]
- 69 Gurram M K, Sharavjamts O, Kinthada N R. Influence of micro-climate parameters on natural vegetation—A study on Orkhon and Selenge Basins, Mongolia, using Landsat-TM and NOAA-AVHRR data. *Intern J Adv Remote Sens GIS*, 2013, 2: 160–172
- 70 Wang Y X, Ding K, Huang X Y, et al. The direct decrease rate of temperature in Yunnan mountains studied by using remote sensing instantaneous temperature field (in Chinese). *J Remote Sens*, 2014, 18: 912–922 [王艳霞, 丁琨, 黄晓园, 等. 利用遥感瞬时温度场研究云南山地气温直减率. *遥感学报*, 2014, 18: 912–922]
- 71 Zhou T, Zhang Y S, Gao H F, et al. The relationship between vegetation index and surface temperature of alpine grassland in Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *J Glaciol Geocryol*, 2015, 1: 58–69 [周婷, 张寅生, 高海峰, 等. 青藏高原高寒草地植被指数变化与地表温度的相互关系. *冰川冻土*, 2015, 1: 58–69]

Correction of the relationship between altitude and latitude of vegetation distribution

ZHOU WanShi¹, ZHANG ChuTing¹, ZHOU ZhiPing² & ZHOU Ting¹

1 State Key Laboratory of Pest Control and Resource Utilization, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2 Administration of Guangdong Tianjingshan National Forest Park, Shaoguan 512726, China

The natural distribution pattern of vegetation is formed by the long-term co-evolution of plants and environment. Understanding the distribution pattern is the basis of management and utilization. The distribution of vegetation is affected by temperature, heat and moisture, especially temperature. There are three basis points for the distribution of vegetation, in which the upper and lower limits affect the distribution range. For a long time, the theoretical model in which elevation of vegetation distribution along the altitude is equivalent to the north shift of latitude has been widely accepted, but the quantitative analysis of this model can be improved. After collecting data on the upper limits of vegetation type distribution along the altitude in 42 mountains in China from previous studies and vegetation data, we used the data processing software R to analyze the relationship of temperature and the upper limit of vegetation type distribution along the latitude and altitude. Data fitting shows that elevation of the upper limit of vegetation distribution along the altitude and the north shift of latitude do not present a simple linear relationship. In addition, the relationship between latitude and temperature was verified by 30 sample points of the same longitude, the same altitude and different latitudes. The temperature changes at different altitudes of three mountain sample points of the same longitude and different latitudes were selected to verify the correlation between altitude and temperature. After fitting, it was found that the temperature decreased by about 0.7°C when the latitude moved 1° to the north, and the temperature decreased by about 0.3°C when the altitude increased by 100 m, while the measured temperature at small scales decreased by about 0.8°C. The above results show that the elevation in altitude is not simply equivalent to the north shift of latitude, and the original theoretical model should take the specific microclimate and other factors into account when guiding the practical work.

vertical distribution of vegetation, altitude and latitude, temperature and latitude, microclimate

doi: [10.1360/SSV-2019-0266](https://doi.org/10.1360/SSV-2019-0266)