

天山数字垂直带谱体系与研究

张百平, 谭 娅, 莫申国

(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要:对 6 个全国性山地垂直带谱体系进行评述。认为区域性的数字垂直带谱的详细研究也是建立中国山地垂直带信息图谱的重要一环。只有通过这样的工作, 才能进一步发现问题和解决问题, 才能逐步趋于完成山地垂直带谱集大成的工作。分析了天山垂直带谱形成的因素, 建立了包括北坡、南坡、西部伊犁谷地、天山腹地(巴音布鲁克盆地)的天山数字垂直带谱体系, 分析了各垂直带的特点, 总结了垂直带谱的区域分异规律。

关键词:天山; 数字垂直带谱; 标准化; 体系化

中图分类号: P90, X87

文献标识码: A

1 中国山地垂直带谱全国体系研究简评

中国 70% 的陆地是山地/高原, 是世界上最大的山地国家。自南向北山地跨越了几乎所有的温度带; 从东向西, 湿润森林、草原、荒漠地带依此更替, 覆盖所有类型的干湿地区; 特别是在西南部, 还发育了世界上最高、最大、最年轻的青藏高原, 其上发育了独具特色的高寒草甸、高寒草原与高寒荒漠。它们都使得我国生态环境表现为复杂的三维变化, 孕育了世界上最为丰富多彩的山地垂直带谱。20 世纪 60 年代以来, 中国植物学家、土壤学家、自然地理学家都不断地对中国山地垂直带从不同学科和角度进行总结和归纳, 给我们认识中国山地生态结构留下了宝贵的资料。涉及全国山地垂直带谱体系的主要有下列工作:

1.1 基于植被区的垂直带体系

侯学煜 1963 年发表的“论中国各植被区的山地植被垂直带谱的特征”被认为是我国山地垂直带谱的首次总结^[1,2]。他将全国分成 8 个植被区, 每个区内分出若干植被带, 每个植被带里选择一个或两个垂直带谱作为代表, 包括具体的分带高度。但是,

有些区(西部雨林季雨林亚区、青藏高原草原区、高寒荒漠区)或带(森林草原带、含热带性灌木的常绿阔叶林带)缺失带谱实例。而且植被分区和植被带后来发生了很大变化。

1.2 基于土壤地带的垂直带体系

马溶之 1965 年发表的“中国山地土壤的地理分布规律”将我国的山地与高原区分开来, 归纳出 18 个山地土壤地带, 区分出 30 个土壤垂直带谱的垂直分布序列^[3], 但没有垂直分带的界限。他还将高原分成 4 类: I 高山高原类型, II 云贵山地高原类型, III 黄土丘陵高原类型, IV 内蒙西北内陆高原类型。

1.3 基于植被地带的垂直带体系

刘华训 1981 采取的是 1960 年《中国植被区划》、1980 年《中国植被》划分的 14 个植被地带, 每一个地带内举 1~3 个带谱实例^[4], 论述了垂直带经向、纬向变化规律和模式, 特别强调了植被垂直带结构的地带性原则, 即垂直地带从属于水平地带。

1.4 基于地理生态类型的垂直带体系

张新时 1994 年根据 7 大植被区归纳出相应的山地垂直带谱的 7 种基本地理生态类型^[2]: 寒温针叶林-冻原型, 温带落叶阔叶林-亚高山草甸型, 东亚亚热带常绿阔叶林-高山草甸型, 北热带山地雨

收稿日期(Received date): 2003-08-01; 改回日期(Accepted): 2003-12-05.

基金项目(Foundation item): 中国科学院前沿领域项目(CX10G-D00-09)资助。[Supported by CAS innovation project CX10G-D00-09]

作者简介(Biography): 张百平(1963-), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师, 主要从事山地生态及 GIS 研究。

[Zhang Baiping(1963-), male, Professor of the Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS. Research field: mountain ecology and GIS.]

林,季雨林型,温带草原型,温带荒漠与极端荒漠型,青藏高原型。还用 5 个大剖面概括了我国山地植被垂直带系统的水平地理梯度及空间演替格局、基本规律。他特别提出垂直分层的概念(山地层和高山层)和湿润区及干旱区山地两大垂直带系统。将亚高山作为高山层的最下一部分,并给亚高山一个清晰的概念,“指由山地森林带向高山植被带的过渡,以多种灌丛、中草草甸或草原、矮曲林等植物群落为特征”。比较明确地解决了困扰植物学界和地理学界的亚高山(植被带)的归属问题。

1.5 基于结构类型的垂直带体系

彭补拙、陈浮 1999 年对前人工作进行了一定程度的概括。将我国山地垂直带归纳为季风性和大陆性两个带谱系统,共包括 7 个结构类型组(湿润、半湿润、高寒半湿润;半干旱、干旱、高寒半干旱、高寒干旱)及 18 个结构类型^[5]。

1.6 基于数字带谱的垂直带体系

张百平 2002 及 2003 首次提出数字山地垂直带谱的概念及方法,特别是实现了垂直带谱数据的融合及与带谱图的动态联系,并提出垂直带的标准化定义及垂直带谱的等级体系,将自然地带作为我国山地垂直带的标准基带,建立了我国山地数字垂直带谱体系(31 个基本谱系,若干特殊谱系)^[6,7],还论述了带谱的 5 种生态类型和 7 种空间变化模式。将我国山地垂直带谱研究提高到崭新的水平。

区域性山地垂直带谱的分类也进行了很多工作,如新疆山地垂直带谱分类^[8],川西滇北山地垂直自然带的结构类型^[9,10],欧亚大陆温带山地^[11],河南山地^[12],青藏高原及周围山地^[13-15],天山山地^[16],等。区域性的山地带谱研究可以分成两类,基于植被区域的和基于带谱结构或气候类型的,而且都建立了一般为 2~3 级的等级体系。

全国性山地垂直带谱研究大部分从植被的角度进行,一部分从土壤角度进行,还有一部分从综合性的垂直自然带进行。它们都揭示了山地相似而对象不同的垂直变化的基本规律。毫无疑问,中国山地垂直带谱系的研究已经走过了近半个世纪的历程。无论是植被垂直带、土壤垂直带,还是综合性的垂直自然带体系研究,都有了长足进展。但我们也不难发现,垂直带的划分标准和详尽程度不尽相同,有时还相当混乱。严重影响了全国标准体系的建立。

数字垂直带的提出、垂直带标准体系的探索,为全面系统地建立我国山地垂直带信息图谱提供了框

架和基础。但过去一个山地常用一个带谱来代表,过于粗略,不符合建立垂直带信息图谱的要求。区域性的数字垂直带谱的详细研究在这方面就至关重要。因为只有通过这样的工作,才能进一步发现问题,才能不断解决问题,才能逐步接近科学系统及完整的中国山地垂直带信息图谱,即山地垂直带研究的集大成。本文进行的天山数字垂直带谱的研究就是这方面的重要尝试。

2 天山垂直带谱形成因素分析

2.1 海拔高度

天山相对高度一般 4 000 m 以上,温度和水份条件随高度发生巨大变化,形成(暖)温带、寒温带、寒带、极高山永久冰雪带组成的气候垂直带谱^[17,18]。这是形成垂直带谱的首要因素。相应地自低向高,依此发育荒漠、山地草原、山地森林/草原、高山草甸、极高山亚冰雪和冰雪带。

2.2 山体走向与盛行风系

干旱地区山区气流来源和走向直接影响到山地环境特征,进而影响山地垂直带的空间变化。首先,天山北翼面临较为湿润而凉爽的准噶尔平原,能够承受和截获北冰洋的湿冷气流,降水较多,特别在中山区,可达 400~500 mm。而天山南翼,则面临极端干旱的塔克拉玛干沙漠,常年处于气流下降区,因而非常干旱。中山带降水多在 200 mm 以下。严重限制了山地森林的发育。

天山地区最湿润的伊犁谷地则得益于其朝西的开口,有利于里海湿润气流和巴尔喀什暖流的进入,形成较多的降水^[19]。特别是气流在向东运行中,会在伊犁谷地上游地区形成地形雨,降雨量因而多在 800 mm 以上,最多地方可达 1 000 mm。为我国天山地区之最。伊犁谷地也因此成为整个天山地区最湿润的区域。景观上表现为山地森林分布海拔低,约为 1 100 m,比天山北坡低 500 m 左右。

相反,天山北坡从四棵树河上游以西的婆罗科努山北坡及阿拉套山一带,与伊犁仅一山之隔,北面受阿拉套山所阻,成为明显的雨影区,即来自西方的湿润气流翻越阿拉套山进入该区后,大部分成为干热风,使这一带气候尤为干旱。山地垂直带明显上升。例如,荒漠基带上升到海拔 1 700 m,森林下限上升到 2 100 m。即山地草原带和森林带比北坡其它地方上升了 500 m。

天山东部的干旱是由于来自西部远洋的水汽到此已是强弩之末,基本上已不起作用了;而且山体相对矮小,故而成为天山北坡最干旱的地段。最东端的伊吾山区,荒漠带可上升到2 000 m,与天山南坡相差无几。

其结果是形成天山西部伊犁谷地比较湿润,南、北坡中部相对湿润而东西两端相对干旱的气候空间格局。它直接影响到各垂直带分布的高度和宽度。

2.3 逆温及“冷湖”的影响

天山北坡处于准噶尔盆地南缘,冬季山地冷空气下滑,盆地垫面辐射冷却,造成盆地底部的“冷湖效应”,使山前平原气温反而低于中山带。大气层结呈现明显的逆温特征。研究资料表明,天山北坡中山地带存在一个明显的冬季逆温层,海拔高度位于500~2 400 m间,之上气温开始递减。1 500~2 800 m间是一个暖层^[17]。天山北坡的山地森林正好分布在该高度范围。这里最冷月均温仅为-12℃。能够使森林躲过寒冬,为森林的发育提供了较好的温度条件。同时该高度范围也是年雨降量最大的地区。

天山腹地的大尤尔都斯盆地冬季也是一个“冷湖”,周围山地中部则形成另一个逆温层。有些阳坡谷地就是牧民的“冬窝子”,有利于高山草甸在冬天的利用。但整个来说,比南、北坡更加寒冷和干旱。例如巴音布鲁克(2 458.9 m)最冷月均温只有-26.0℃,比南坡的乌恰拖云(3 506.6 m,最冷月均温-15.7℃)还冷的多。尽管最热月温度高(10.4℃)和海拔低,但由于冬季温度太低和干旱(年降雨量276.2 mm),缺乏发育森林的条件。

2.4 坡向、微地形、地面组成物质的分异作用

干旱区不同坡向由于太阳照射强度不同,会产生较大的温度差异和湿度差异。研究表明,干旱区阳坡比阴坡的温度可高出3~6℃。由于降水量相同,土壤湿度和气温就会发生很大变化,可使阴阳坡发育不同植被类型。这在垂直带的交界处表现的尤为明显。例如,在荒漠与山地草原过渡带,阴坡是草原,阳坡是荒漠;在山地草原与山地森林交界处,阳坡为草原,阴坡为森林。巴里坤阴坡水热系数为58.78,景观为山地草原;阳坡水热系数才37,景观为荒漠。天池附近,阴坡水热系数356,景观为森林;阳坡水热系数236,景观为草原^[20]。这种分异作用使得干旱区山地垂直带过渡区形成明显的二元结构过渡模式。

微地形的分异作用十分明显。在森林与高山草甸过渡地带或森林带中上层部,平缓山坡的下部以及平缓山体的顶部经常是高山草甸分布。其原因前者是微地形产生的地下水位变化,坡面下部地下水位前,利于草甸发育;后者是由于山顶承受的风力较大,不利于森林生长。其结果是高山草甸分布的垂直宽度增加。给我们划分垂直带界限带来更大的困难。

山坡的土壤基质对垂直带影响也较大。在强度石质化的山坡,旱中生的灌丛和石生垫状植被特别发达。它们取代了在细土基质上发育的垂直地带性草原或草甸,使干旱环境的荒漠和荒漠草原分布上升。这在陡峭的南坡最明显。这里干旱垂直带海拔的升高不仅与干旱气候有关,也与粗略的地表物质有关系。

3 天山数字垂直带谱体系

天山是干旱区典型的巨型山系,因而其垂直自然带的划分涉及到一般干旱山区垂直带划分的基本问题。如世界上其它地区一样众所周知,干旱区山地垂直带的划分目前还缺乏标准体系。但是,最近的山地垂直带信息图谱的研究^[6,7],为山地垂直带划分的标准化提供了重要的框架。本节拟在此基础上,根据野外调查和相关资料分析,为天山提供一个尽可能全面和系统的垂直自然带分类系统。

3.1 基带的确定

基带是决定垂直带结构特征及其地位的最基本的因素,因而基带的确定是建立垂直带体系的第一步。天山在我国境内东西绵延1 800 km,将新疆分成南疆暖温带和北疆中温带。因而天山南北差异明显。相应地,天山北坡处于(中)温带荒漠灰棕荒漠土地带。这就是天山北坡垂直带发育的基带;天山南坡则处于暖温带荒漠棕漠土地带,这是天山南坡垂直带发育的基带。它们构成天山南北两个基本的地带和基带。天山的垂直带谱主要就是在这两个相近、相邻但不相同的基带上发育而成的。另外,天山西端的伊犁谷地处于荒漠草原-灰钙土地带,虽然区域相对狭小,仍代表一个水平自然地带;天山腹地的巴音布鲁克则为山间盆地,盆地中心海拔达2 400 m左右。盆地底部为开都河源区,发育了大面积的湿地,但显域生境上发育了高山草原为代表的植被,相应地中心山地及周围山地发育了山体内部

特殊的垂直带谱。根据中国自然地带体系^[21]和中国垂直带谱分类体系^[7],天山地区发育了三个标准带谱系列(温带荒漠带谱系列、暖温带荒漠带谱系列、温带荒漠草原带谱系列)和一个特殊带谱系列(高寒草原带谱系列)。

3.2 山地森林带/森林-草原亚带

山地森林带是干旱区山地指示性垂直带。它的分布区代表山地气候相对湿润的地方,对于干旱地区具有特殊的意义。它的确认关系到其上的高山草甸带和其下的山地草原带。因而山地森林带的确定在干旱区山地垂直带谱中具有重要地位。

我们知道,山地垂直带应是一个完整的地带生态系统类型,具有一定的垂直幅度、空间连续性和分布范围。在很多山段这是非常明显的,如天山北坡和伊犁谷地,山地森林像一条翠绿的腰带装扮着天山北坡。在这里,山地森林“成带”。但在有些山段,情况就完全不一样。例如在昆仑山北坡和天山南坡,山地森林则断续的呈斑状分布,山地森林“不成带”。这里虽有山地森林分布,但没有山地森林带。为了突出天山南坡山地森林的珍贵,我们划分出山地森林-草原亚带。天山腹地——巴音布鲁克盆地,由于海拔高,温度低,仅仅在个别相对较温暖的谷地里有零星的森林出现。

3.3 山地草原带和高山草原亚带

山地草原是天山山体下部发育的主要景观类型之一。无论在天山南北,还是伊犁谷地,山地草原垂直带都是连续的大面积分布,构成优势垂直带,在干旱区山地垂直带谱中占有重要地位。天山南坡由于干旱程度高,在某些山段海拔较高的地方发育的不是高山草甸,而是高山草原。作为特殊情况,在南坡垂直带划分中将其分出,但仅作为亚带。

3.4 高山草甸带

高山草甸在正常情况下分布在山地森林带之上,是高山带的重要标志。世界上几乎都是根据草甸带下限与森林带上限划分高山带的。一般山地,只要高度足够高,都会发育一定的高山草甸带。只有在极其干旱的高山区,高山草甸才不明显^[15]。整个天山的高山区,我们都发现有高山草甸的分布,只是发育规模有一定的差异。

3.5 冰雪带与亚冰雪带

天山山脊线高度多在 4 500~5 000 m 以上,极高山区发育了规模较大的稀疏植被带(亚冰雪带)和多年积雪带(冰雪带)。他们都是干旱区极高山地的

基本垂直带。

在很多关于新疆山地垂直带文献中,还划分出一些其它垂直带,例如亚高山草甸带、亚高山草原带、荒漠草原带等。它们多为过渡类型。但根据山地垂直带的定义^[7],它们不能作为独立的垂直带,而应作为垂直带内部差异进行处理。例如,有些学者在天山北坡区分出山地荒漠草原带。它其实是荒漠与山地草原的过渡带,在分布上很不容易把握。国际上一般认为 2 000~2 500 m 的山地就是高山了,在我国常常被认为是亚高山甚至中山。有些文献当中提出伊犁谷地上游山地草甸的概念^[19]。我们认为这里的海拔在 1 800 m 以上,仍应按高山草甸处理。人们在天山地区划分出的高山荒漠带是一个很不准确的概念。高山(寒)荒漠指青藏高原西北部发育的高寒干旱地带。天山地区的高山荒漠其实是极高山亚冰雪带。天山南坡垂直带缺失森林带,但山地草原带之上确实有一些地方发育了森林/草原混合带,为了能充分反映这个现象,我们划分出山地森林草原亚带。南坡有些地方在高山草甸下发育了草原,具有高山草原的特征,也作为亚带单独划分出来。最后,山地植被分带经常把垂直带划的很细,例如灌木荒漠、半灌木荒漠、甚至小半灌木荒漠。本文将尽可能将他们进行合并成综合性的山地垂直自然带,它们的差异在垂直亚带或属性描述中体现。

根据上述认识和讨论,天山地区山地垂直带可以归纳为表 1。

表 1 天山垂直自然带分类体系
Table 1 Altitudinal belts in Tianshan Mts.

天山北坡	天山南坡	西部伊犁谷地	天山腹地
冰雪带	冰雪带	冰雪带	冰雪带
亚冰雪带	亚冰雪带	亚冰雪带	亚冰雪带
高山草甸带	高山草甸带	高山草甸带	高山草甸带
山地针叶林带	(高山草原亚带)	山地针叶林带	高寒草原带
山地草原带	(山地森林草原亚带)	(山地阔叶林带亚带)	
温带荒漠带(基带)	山地草原带	山地草原带	
	(山地荒漠草原亚带)	温带荒漠草原带(基带)	
	暖温带荒漠带(基带)		

根据天山垂直带分类体系和数字垂直带谱研究方法,天山垂直带谱体系可以归纳为图 1(天山北坡温带荒漠垂直带系列),图 2(天山南坡暖温带荒漠垂直带系列),图 3(天山西部伊犁谷地温带荒漠草原垂直带系列)。

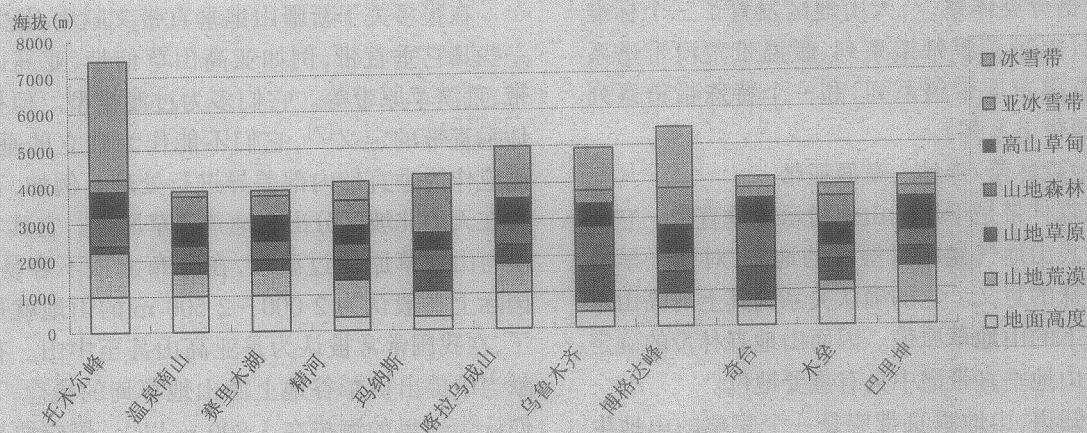


图1 天山北坡数字山地垂直带谱

Fig.1 Digital altitudinal belts in northern Tianshan

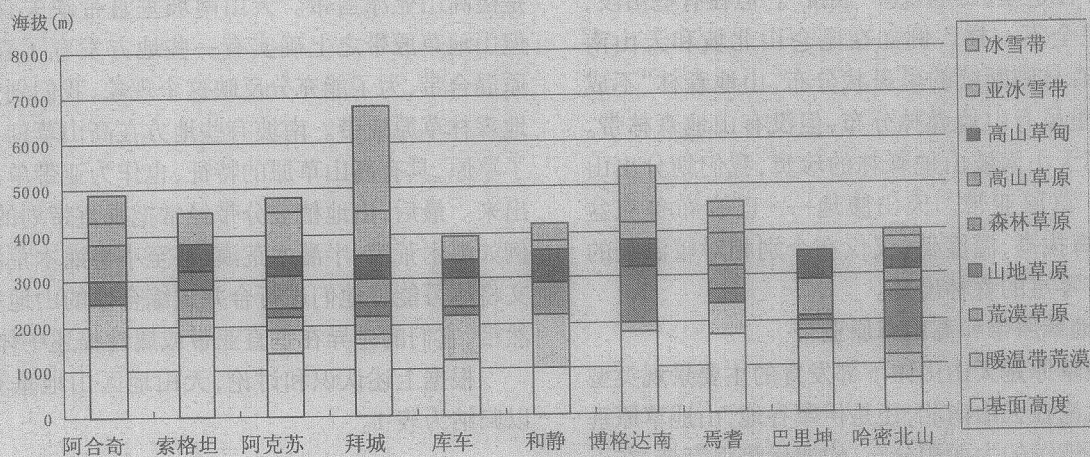


图2 天山南坡数字垂直带谱

Fig.2 Digital altitudinal belts in southern Tianshan

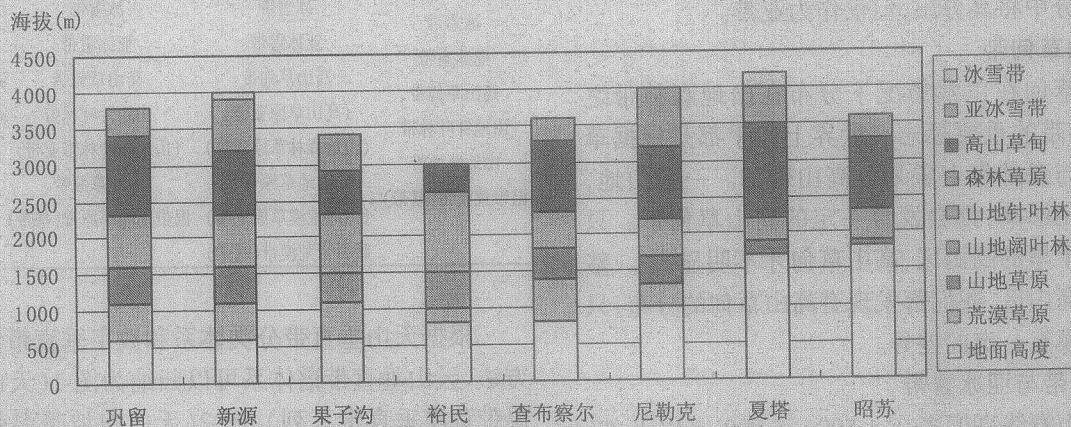


图3 伊犁谷地数字垂直带谱

Fig.3 Digital altitudinal belts in Yili valley

4 天山垂直带谱的空间变化模式

4.1 北坡垂直带

天山北翼垂直带谱属于温带荒漠灰棕漠土系列。由1个基带和5个垂直带构成(见图1)。天山北翼所有垂直带谱的结构完全一样,在垂直带空间变化分类中属于同构类型^[7],即每一个带谱的垂直带数量和排列一致,差异在于同一垂直带的上下限高度及带幅宽度的不同。当然,垂直带的分布像很多地理现象一样不是截然分明的,而是存在着明显的过渡。相邻垂直带的过渡可以概括为由阴阳坡产生的二元结构^[20]。例如在山地森林与山地草原的过渡区为草原(阳坡)-森林(阴坡)组合,在森林与高山草甸的过渡带为森林(阳坡)-草甸(阴坡)组合。同一个垂直带内部,上中下也会出现一定的差异。各分带情况如下:

1. 山地荒漠垂直带(800~1 000 m至1 100~1 550 m):是温带荒漠基带在山地的延伸,主要为蒿类荒漠。

2. 山地草原垂直带:以针茅与狐茅(*Stipa capillata*和*Festuca sulcata*)构成的草原亚带(1 700~1 550 m至2 150 m)为主,在阳坡上他们可以上达2 500 m。下部有狭窄的主要为蒿类(东部),或猪毛菜类-羽茅-多根葱(西部)荒漠草原亚带(1 100~1 550 m至1 100~1 700 m)。在草原植被的组成中,通常是在谷地的侧坡上,常混杂有许多旱生灌木,构成灌木草原地段,这在博格达山最为显著。向上接近林带或在林带下部,通常为草甸草原,在山地草原的草本植物中混杂有越来越多的山地草甸植物种类。

3. 山地森林带:天山北翼山地森林主要分布在阴坡,一般生长良好,基本上成连续的带状,分布在海拔1 600~2 800 m的范围内。建群种比较单一,为天山云杉。但东部奇台至木垒一带,林带下部为天山云杉和山杨组成的针阔叶混交林。巴里坤以东山地针叶林中出现新疆落叶松(*Larix sibirica*)。其分布区为42°50'~43°10'N,93°0'~94°50'E。林区的年降水量300~500 mm。落叶松一般分布在海拔2 200~2 800 m的北坡,下部与天山云杉林构成混交林^[22]。在典型地段上,森林带上中下部由于自然条件差异也出现明显的分化。上部森林-草甸亚带,中部典型森林亚带,下部森林-草原亚带。

4. 高山草甸带(2 400~3 900 m):也是一个完整的垂直带,植物以发育良好的蒿草草甸为主。但各地段的分布高度有明显变化。最低在2 400 m就出现了,最高可以分布到3 900 m。高山草甸在林带上部(2 300~2 700 m)就有局部出现。再向上(2 700~3 600 m)则为比较典型的高山草甸,以蒿草和部分的苔原为主;在较阴湿的坡地则有高山蓼(*Polygonum viviparum*)与苔草为主的高山草甸,而绚丽的高山五花草甸只是在特别湿润的地段,如在玛纳斯南山才有分布。

5. 亚冰雪带和冰雪带:雪线高度在3 600~4 200 m间。相对较低,这是天山北坡冰雪大规模发育的主要原因。

4.2 南坡垂直带

天山南坡为暖温带荒漠基带上发育的山地垂直带系列。荒漠向山地侵入很深,冬季少雪,气候干燥,森林植被以稀疏的林相、分布零散、林线升高与组成单纯等为特征。在山地植被垂直带体系中,一般缺乏亚高山草甸带与森林带,仅在亚高山带与高山带的局部阴坡出现小片森林。由东到西,森林的分布状况也有很大变化。在东部焉耆北山一带陡峭湿润的阴坡,分布着很少量的森林,一般皆为灌木丛,森林垂直带的下限在2 200 m,上限常在3 000~3 500 m以上。库车北山以西,森林分布较多。在西部汗腾格里山脉的北坡,气候湿润,这里植被近似于伊犁地区,森林分布相对集中,森林垂直带的界限为2 000~2 800 m。其中山地荒漠、草原和高度旱化的高山植被垂直带分异很明显;但在雪峰高耸的天山南坡中部仍然表现出旱中生性的亚高山森林草原垂直带。针叶林在这里由于旱热气候的逼迫,上升到亚高山带的陡峭阴坡,成块状片段分布,已失去了地带性植被的意义。在亚高山带占优势的是草原、草甸和旱中生的灌丛。山地荒漠和荒漠草原上升很高,甚至占据了整个中山带。主要垂直带特征如下:

1. 山地荒漠垂直带(1 400~2 100 m至1 750~2 700 m):上部为蒿类荒漠,下部为小半灌木猪毛菜类荒漠。

2. 山地草原垂直带(1 750~2 700 m至2 200~3 000 m):主要为蒿类-羽茅-狐茅荒漠草原。

3. 山地森林草原垂直带(2 200~3 000 m至2 900~3 600 m):以杂类草-禾草草甸或狐茅草原为优势的类型,与阴坡上的块状分布的雪岭云杉林

(在巴里坤并与西伯利亚落叶松混交)和石质坡上的灌丛相结合。在北塔山北坡,本带为亚高山草原垂直亚带。

4. 高山草甸垂直带(2 900~3 600 m至3 200~4 000 m):由 *Cobresia capilliformis*, *C. pamiroalaica* 与 *Festuca supine* 或细柄茅等为主的高山草甸所构成。

5. 雪线:高度一般在4 000~4 500 m。

4.3 西部伊犁谷地垂直带

伊犁谷地基带是温带蒿类荒漠草原。这里山区的多年平均降雨量800~1 000 mm,气候温暖而湿润。因而中生性质的山地森林和高山草甸垂直带都很发育。特别是草甸带发育,与山地草原和森林带交叉分布,从1 400 m起至3 500 m。垂直幅度很广,有人因而分出山地草甸、亚高山草甸等。

1. 山地草原带:以白草(*Bothriochloe ischaemum*)为主要特征。带的下部为蒿类-羽茅-狐茅荒漠草原。

2. 山地森林带:有明显的特点。①下限海拔较低:山地森林带的下限高度为1 100 m;②山地森林带结构比较复杂:针叶林(天山云杉林)分布在1 400~2 700 m,据记载最高上限可达2 900 m。其下发育了与天山杨(*Populus pseudotremula*)或桦木(*Betula tianshanica*, *B. microphylla* 等)结合构成的混交林,再下是与灌木草原相结合的阔叶林带(1 100~1 600 m),特别是发育了有地方特色的野果林(野苹果、野杏、野核桃);③森林长势好:由于这里森林生态条件优越,每公顷立木蓄积量为320 m³以上,最大可达1 000 m³或更高。每公顷年生长量可达2.9 m³。伊犁谷地山地森林是全疆天山云杉生长最佳的林区。

3. 高山草甸:上部是嵩草草甸(*Cobresia Polygonum viviparum*, *Leontopodium alpinum*),下部为 *Alchemilla rubens*、*A. krilovii*、*Phlomis oreophil*、*Geranium albiflorum* 组成的草甸。下限2 300~2 600 m,上限2 900~3 500 m。

4.4 天山腹地(巴音布鲁克)垂直带

巴音布鲁克盆地周围都是高山,中间东西走向的艾尔温根乌拉山将盆地分成南北两个间山盆地(大、小尤尔都斯),很像一个“小新疆”。盆地底部海拔多在2 400~2 500 m间。周围山地多在5 000 m以上。高寒草原,特别是高寒草甸广布,是比较优良的高山牧场。

盆地北部和中部山地由于多处于大阳坡,温度较高,高寒草原分布在2 500~2 800(2 900)m间,且水平宽度达到16~20 km;南部山地则处于大阴坡,高寒草原分布较低,一般在2 450~2 750 m间,水平宽度只有3~5 km。其上是高寒草甸,它分布在2 700~3 200 m(阴坡)及2 800~3 500 m(阳坡)。最上是亚冰雪带和冰雪带,雪线高度一般在4 300~4 500 m。

4.5 垂直带的区域差异

4.5.1 东西方向差异

天山北坡,垂直带谱的变化遵循气候中间湿润、东西干旱的空间变化规律,中间垂直带分布较低,东西两端较高。在山地森林带的分布中特别能够比较充分地体现(见图1)。前面已经提到,天山北坡西段干旱的原因是准噶尔西部山地阻挡了北冰洋湿润气流,处于“雨影”地带。森林下限高达2 000 m。带宽较窄,科古琴山为400 m,精河700 m。精河往东至乌苏一带,降雨量增加,而且发育了宽厚的山前带,大大缓冲了干旱荒漠气候的影响,森林下限降低,带幅变宽。玛纳斯-乌鲁木齐-奇台之间,山地森林带分布在1 600~2 800 mm,森林为单一的云杉,森林发育最好。奇台以东的木垒河至巴里坤山为一段低矮石质山地,森林中断。但再往东到哈密以北的巴尔库-喀尔里克山又出现森林,但海拔明显上升至2 100~2 900 m间,并且植物种类发生变化,即新疆落叶松代替天山云杉成为优势种。

天山南坡也表现为干旱程度从中部向东、向西增强,山地垂直带也发生相应的变化(详见图2)。

4.5.2 南北坡对比

天山南、北翼垂直带谱是两种不同的荒漠带谱系列。它们之间的差异是明显的。首先,北坡相对湿润,南坡则相当干旱,荒漠性更强;因而南坡荒漠分布的高度要比北坡高。例如,北坡主要山段荒漠的高度仅上升到800~1 000 m,而南坡荒漠则上升到2 000 m以上,比北坡高出1 000 m以上。其它类似的垂直带都是南坡比北坡高,高山草甸要高出500 m以上;雪线北坡3 800~4 000 m,而南坡在4 500 m左右,高出500~700 m。

其次,北坡发育了完整的地带性森林带,而南坡则缺失完整的森林带,只有片状森林分布;而且北坡林下发育的是典型的灰褐色森林土,南坡林下发育的是较干旱的碳酸盐灰褐色森林土。这是南北坡景观上最大的差别。

4.5.3 山体内外比较

将天山腹地(巴音布鲁克)与南北坡的山地垂直带比较,会得出一些很有意义的结论。我们惊奇地发现,在 2 400~2 700 m 的海拔高度上,北坡是山地森林带,南坡有些地段也有森林草原的分布,而在巴音布鲁克则没有森林的分布。这主要是由于前面提到的腹地内部冬季低温、大风及更加干旱的气候,使得森林无法发育。

参考文献(References):

- [1] Hou Xueyu. On the Characteristics of altitudinal belt spectra in vegetation regions of China[A]. In: Collection of Abstracts of Papers for the Thirtieth Annual Meeting of China Flora Association[C]. 1963: 254~258. [侯学煜. 论中国各植被区的山地植被垂直带谱的特征[A]. 见: 中国植物学会, 中国植物学会三十周年年会论文摘要汇编. 1963, 254~258.]
- [2] Zhang Xinshi. The principle eco-geographic types of mountain vertical vegetation belt systems in China[A]. In: Research on vegetation ecology: a commemoration for famous ecologist Prof. Hou Xueyu[C]. Beijing, Science Press, 1994: 77~92. [张新时. 中国山地植被垂直带的基本生态地理类型[A]. 见: 植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 77~92.]
- [3] Ma Rongzhi. General principles of geographical distribution of mountain soils in China[J]. ACTA PEDOLOGICA SINICA, 1965, 13(1): 1~7. [马溶之. 中国山地土壤的地理分布规律. 土壤学报, 1965, 13(1): 1~7.]
- [4] Liu Huaxun. The vertical zonation of mountain vegetation in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1981, 36(3): 267~279. [刘华训. 我国山地植被的分布规律[J]. 地理学报, 1981, 36(3): 267~279.]
- [5] Peng Buzhou, Chen Fu. Progress in the study of mountain vertical zonation in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(4): 303~308. [彭补拙、陈孚. 中国山地垂直自然带研究的进展[J]. 地理科学, 1999, 19(4): 303~308.]
- [6] Zhang Baiping, et al. Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system[J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(6): 660~665. [张百平等. 数字山地垂直带谱及其体系的探索[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 660~665.]
- [7] Zhang Baiping, Zhou Chenghu, Chen Shupeng. The Geo-info-spectrum of montane altitudinal belts in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 163~171. [张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 163~171.]
- [8] Li Shiyong, Zhang Xinshi. Classification principles and characteristics of structural types of vertical vegetation zonation of mountains in Xinjiang[J]. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1966, 1(1): 132~141. [李世英, 张新时. 新疆山地植被垂直带结构类型的划分原则和特征[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1966, 1(1): 132~141.]
- [9] Jiang Su. Vertical zonation and horizontal differentiation of physical geography in western Sichuan and northern Yunnan[A]. In: Proceedings of the 1962 symposium on physical regionalization[C]. Beijing: Science Press, 1964. 62~69. [姜恕. 川西滇北地区自然地理垂直分带与水平差异[A]. 见: 1962 年自然区划讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1964: 62~69.]
- [10] Zheng Yuanchang and Gao Shenghuai. Trial discussion on the vertical natural zone of the mountains in west Sichuan[J]. Mountain Research, 1984, 2(4): 237~244. [郑远昌, 高生淮. 略论川西山地的自然垂直带[J]. 山地研究, 1984, 2(4): 237~244.]
- [11] Huang Xichou. Structure types of vertical zones for temperate mountains in the Eurasia[A]. In: Proceedings of the national 1960 geographical symposium[C]. Beijing: Science Press, 1962. 67~74. [黄锡畴. 欧亚大陆温带山地垂直自然带结构类型[A]. 见: 1960 年全国地理学术会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1962. 67~74.]
- [12] Zhang Guangye, Zhang Jinquan. Classification and characteristics of altitudinal belts in mountains of Henan Province[A]. In: Proceedings of the national 1963 geographical symposium[C]. Beijing: Science Press, 1964. 62~69. [张光业, 张金全. 河南省山地垂直带的分类及其基本特征[A]. 中国地理学会 1963 年年会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1964. 62~69.]
- [13] Jinag Shu. Zonal differentiation of vegetation in the Tibetan Plateau and surrounding mountains[A]. In: Research on vegetation ecology: a commemoration for famous ecologist Prof. Hou Xueyu[C]. Beijing, Science Press, 1994: 100~111. [姜恕. 论西藏高原及其边缘山地的植被地带分异[A]. 见: 植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 100~111.]
- [14] Zheng Du. The altitudinal belts of vegetation and regional differentiation of the Karakorum Mountains[A]. In: Research on vegetation ecology: a commemoration for famous ecologist Prof. Hou Xueyu[C]. Beijing, Science Press, 1994: 93~99. [郑度. 喀喇昆仑山植被垂直带及其地域分异[A]. 植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 93~99.]
- [15] Zhang Baiping. Geocology and Sustainable development in the Kunlun Mountains, China[J]. Mountain Research and Development, 1995, 15(3): 283~292.
- [16] CAS mountaineering and investigation team. Physical geography of Mt. Tomor in the Tianshan Mountains[M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1985. [中国科学院登山科学考察队. 天山托木尔峰地区的自然地理[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985.]
- [17] Zhou Xia. Vertical climate zonation in the middle part of northern Tianshan[J]. Arid Land Geography, 1995, 18(2): 52~60. [周霞. 天山北坡中段气候垂直分异研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(2): 52~60.]
- [18] Zhou Xia, Chen Dongjing. Vertical climate zonation and characteristics in the southern flank of Tianshan Mts[J]. Mountain Research, 1998, 18(1): 47~52. [周霞, 陈东景. 天山南坡气候垂直变化特征[J]. 山地研究, 1998, 16(1): 47~52.]

- [19] Zhang Liyun, Xia Yang. The general characteristics of vegetations in the Kongnais mountain meadow nature reserve[J]. *Arid Zone Research*, 1995, 12(2): 1~10. [张立运, 夏阳. 巩乃斯山地草甸自然保护区植被的一般特征[J]. 干旱区研究, 1995, 12(2): 1~10.]
- [20] Li Xiaoming. Relationship between climate and vegetation distribution pattern in Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 1998, 5(2): 41~46. [李小明. 新疆植被分布规律与水热关系初探[J]. 干旱区研究, 1998, 5(2): 41~46.]
- [21] Huang Bingwei. Integrated physical regionalization of China (draft)[M]. Beijing: Science Press, 1959. [黄秉维. 中国综合自然区划(初稿)[M]. 北京: 科学出版社. 1959.]
- [22] Compiling Committee of Xinjiang Forest. Xinjiang Forest. 1989. Xinjiang People's Press and China Forestry Press. [《新疆森林》编辑委员会. 新疆森林[M]. 新疆人民出版社和中国林业出版社. 1989.]

Digital Spectrum and Analysis of Altitudinal Belts in the Tianshan Mountains

ZHANG Baiping, TAN Ya, MO Senguo

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS. Beijing 100101)

Abstract: This paper firstly reviews 6 classification systems for the spectra of mountain altitudinal belts in China and considers that regional detailed study of altitudinal belts is the key for reaching standardization and systemization of mountain altitudinal belts. Only this can help further identify and resolve problems with the study of altitudinal belts. The factors forming the spectra of altitudinal belts are analyzed in the Tianshan Mountains of China, and a digital altitudinal belt system is constructed. According to the type of base belt, four series of spectra have been distinguished, namely, mid-temperate desert series in the northern flank, warm temperate desert series in the southern flank, alpine steppe series in the heartland, and temperate desert-steppe series in the Ili valley in the west. The characteristics of every altitudinal belt are revealed, with a summarization of the pattern of areal differentiation of altitudinal belts, both for the northern, southern flanks and for the Ili valley and the heartland of the Tianshan Mts.

This paper also shows the digital method for visualizing the altitudinal belts in the Tianshan Mts. The data of altitudinal belts can be put into a data table meticulously designed, and the graph of the spectra of altitudinal belts can be got in the twinkling of an eye. What's more, the color of any belt can be changed as one pleases. This method can integrate a large amount of data of altitudinal belts and build dynamic connection between them and their graph, making it easy to visualize them. This can help us to discover more patterns of spatial differentiation of altitudinal belts and their combination by gathering as many as possible data of altitudinal and displaying them digitally and visually.

Key words: Tianshan Mountains ; digital spectrum of altitudinal belts; standardization; systemization