

青海高原紫花针茅草原群落数量分类与排序

岳鹏鹏^{1,2},孙菁²,卢学峰²,叶润蓉²,周玉碧²,杨仕兵²,彭敏^{2*}

(1 榆林学院 生命科学学院,陕西榆林 719000;2 中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810000)

摘要:紫花针茅草原是青藏高原高寒草原中分布面积最大、最重要的群落类型。该文选择青海高原典型紫花针茅草原为研究对象,在大量群落学调查的基础上,采用双向指示种分析(TWINSPAN)和典范对应分析(CCA)等多元数量分析方法研究了青海高原紫花针茅草原群落的数量分类。结果显示:(1)所调查的紫花针茅草原是物种组成相对比较简单、菊科和禾本科植物最多、北温带分布的属为主体的草原群落。(2)青海高原紫花针茅草原的90条样带可划分为8个群丛类型:紫花针茅+川青早熟禾群丛、紫花针茅+矮嵩草群丛、紫花针茅+多枝黄芪群丛、紫花针茅+高山嵩草群丛、紫花针茅+十二裂委陵菜群丛、紫花针茅+沙生凤毛菊群丛、紫花针茅+弱小火绒草群丛、紫花针茅+梭罗草群丛。(3)影响青海高原紫花针茅草原群丛分布的主要环境因子是空间因子(海拔、经度、纬度)和热量因子(温度),其次是湿润度、降雨量等水分因子。(4)对于紫花针茅草原群落内部的群丛划分,CCA可以补充纠正TWINSPAN等级分划,使分类结果更符合实际生态意义,更清晰地反映群丛类型与环境梯度之间的关系。

关键词:青海高原;紫花针茅;双向指示种分析;典范对应分析

中图分类号:Q948.15⁺6

文献标志码:A

Quantitative Classification and Ordination of *Stipa purpurea* Steppe Community in Qinghai Plateau

YUE Pengpeng^{1,2}, SUN Jing^{1,2}, LU Xuefeng², YE Runrong²,
ZHOU Yubi², YANG Shibing², PENG Min^{2*}

(1 Life Science College, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China; 2 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810000, China)

Abstract: *Stipa purpurea* steppe is the largest area and most important community type of alpine steppe ecosystems in Qinghai-Xizang Plateau. Currently, the number of studies on the *S. purpurea* steppe classification and ordination is still lacking. In this study, the typical *S. purpurea* steppe in Qinghai Plateau was selected as subject. Multivariate statistics methods including TWINSPAN(Two-way Indicator Species Analysis) and CCA(Canonical Correspondence Analysis) were used to classify the *S. purpurea* steppe on the basis of investigating a large number of vegetation communities in this region. The results showed that: (1) The species composition of *S. purpurea* steppe in the study area is relatively simple. The dominant families of seed plants were Gramineae and Compositae, and the dominant areal types of genera were North temperate type. (2) The 90 transects of *S. purpurea* steppe in Qinghai Plateau could be merged into 8 main ecological associations: Ass. *Stipa purpurea* + *Poa indattenuata*, Ass. *Stipa purpurea* + *Kobresia humilis*, Ass. *Stipa purpurea* + *Astragalus polycladus*, Ass. *Stipa purpurea* + *Kobresia pygmaea*, Ass. *Stipa purpurea* + *Potentilla bifurca*, Ass. *Stipa purpurea* + *Saussurea arenaria*, Ass. *Stipa purpurea* + *Leontopodium hu-*

收稿日期:2013-12-05;修改稿收到日期:2014-03-18

基金项目:陕西省自然科学基金(2011JQ5010);陕西省教育厅科学研究计划项目(11JK0637);榆林学院高层次人才项目(11GK07)

作者简介:岳鹏鹏(1981—),女,博士,讲师,主要从事植物生态学和农业生态学研究。E-mail:Yue_pengpeng@163.com

*通信作者:彭敏,研究员,主要从事区域生态学研究。E-mail:Pengm@nwipb.ac.cn

milum and Ass. *Stipa purpurea* + *Kengyilia thoroldia*. (3) The major environmental factors influenced the distribution of *S. purpurea* steppe ecological associations in Qinghai Plateau firstly were space factors (altitude, longitude and latitude) and heat factor (temperature), then water factors (precipitation, wetness). (4) For internal ecological association division of *S. purpurea* steppe community, CCA could complement and correct the TWINSPAN results, make the classification more realistic ecological significance, and reflect more clearly relationship between the associations and environmental gradients.

Key words: Qinghai Plateau; *Stipa purpurea*; TWINSPAN; CCA

亚洲大陆中部素有“世界屋脊”之称的青藏高原,是一个独特的地理单元^[1],其环境气候的特殊性、高寒生态类群的特有性和生态系统的脆弱性在中国乃至世界都有典型的代表意义。紫花针茅(*Stipa purpurea*)草原是青藏高原高寒草原中分布面积最大、最重要的群落类型^[2-3]。它不仅在高山构成一定宽度的垂直带,而且在开阔的高原面上构成高寒草原水平地带景观,对景观和生态系统多样性的保护维持意义重大。另外,紫花针茅草原在防风固沙、水土保持等维护自然环境稳定性等方面起着重要作用,同时还为草地畜牧业的发展提供了不可缺少的物质基础。

20世纪80年代以前,有关紫花针茅草原的研究很少,仅在早期的植物描述和植被调查文献中偶尔出现,如张经炜指出紫花针茅是羌塘东南部草原植物群落的主要建群种^[4]。自20世纪80年代至90年代末,紫花针茅陆续出现在植物分类和植被类型特征的研究中,紫花针茅更详细的分类特点、群落外貌、盖度、分布和生境等有了较多一些报道^[5-6]。进入21世纪后,针对和涉及到紫花针茅草原的研究工作开始大量出现。其中,对紫花针茅未知分布区的勘察进一步展开,如何萍等^[7]结合遥感影像数据和地面勘察,证明紫花针茅草原是雅鲁藏布江源头区高寒草原的主要类型之一。刘洋等开始关注更为细化的种间关系,发现青海巴滩地区、沱沱河地区紫花针茅草原群落总体种间关联性分别为负相关和显著正相关^[8-9]。较多的研究则集中在草原退化特征方面,李明森^[10]指出紫花针茅草原生态较脆弱,已有三分之一的草地受沙化和侵蚀的威胁,4%的草地处于过牧退化状况。马世震等^[11]证明退化草地植被盖度比未退化区下降,优势物种变化,物种多样性指数下降。有关紫花针茅草原群落多样性的研究也出现了一些有价值的结论,而多样性随着干扰程度和海拔梯度等的变化是其中的热点^[12-15]。总体来看,紫花针茅草原的研究虽不断增多,但主要是限于局部地区的单项研究,对大尺度范围内紫花针茅草原群落的内部分类、空间分布和生态环境变化特征

以及它们之间的相关关系的综合性系统研究较少,群落自身的生态特点、内部的分布规律等还存在很多未知问题。

因此,本文选择青藏高原重要组成部分青海高原的典型紫花针茅草原作为研究对象,以大量的群落学调查为基础,采用数量分类和排序等多元数量分析方法,系统研究青海高原紫花针茅草原群落的物种组成、内部分类、群丛特征以及影响群丛分布格局的环境因子,旨在揭示紫花针茅草原群落的内在规律,可为维护生态脆弱区生态系统平衡和资源的可持续利用提供数据基础。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区位置和样地设置

研究区域位于青藏高原的组成部分青海高原,根据紫花针茅草原的分布,分别在黄河源区附近的典型间断分布区(研究区A)、青海湖地区(研究区B)和长江源区(研究区C)进行了系统取样与研究(表1)。通过实地勘察,在每个研究区紫花针茅草原代表性群落分布的典型地段设置3~6个样地(各样地基本情况见表1)。为保证相对一致性,样地均选择植物生长均匀、地形差异较小和集中连片分布的群落,采用样带和样方相结合的方法取样。

1.2 调查取样方法

各样地根据面积大小分别设置5~11条100 m样带,相邻样带至少间隔500 m,样带方向随机设定。每条样带上设置10个1 m×1 m的样方,第一个样方在样带0~9 m间随机选定,后续样方沿样带以10 m间隔依次等距设定。详细记录每个样方中植物的种类组成、分盖度和频度、群落总盖度以及物候等群落参数。同时用GPS(全球定位系统)测定记录样方的经纬度和海拔等环境因子。各样带上取其10个样方相关参数的算术平均值,作为后续计算分析的基础数据。在3个研究区14个样地上共调查样带90条,1 m×1 m样方900个。各样带的多年平均气温、降雨量、湿润度等气候因子资料由中国科学院地理科学与资源研究所人地系统主题数据

表1 调查样地基本情况
Table 1 General conditions of plots

研究区 Study area	样地 Plot	样带号 Transect No.	样方数目 Quadrat No.	行政区域 Sites	海拔 Altitude /m	经度 Longitude	纬度 Latitude	平均温 度 Average annual temperature/°C	年均降水量 Average annual precipitation/mm	年均湿度 Average annual degree of wetness
A	P1	t1~t11	110	同德县 Tongde County	3 500.91	100°54'	35°12'	-0.06	474.61	2 292.73
	P2	t12~t22	110	玛多县 Maduo County	4 273.18	97°40'	34°50'	-3.45	369.46	218.45
	P3	t23~t33	110	曲麻莱县 Qumalai County	4 384.82	95°45'	34°04'	-2.36	358.57	2 728.36
B	P4	q1~q5	50	天峻县 Tianjun County	3 617.40	98°41'	37°31'	-1.68	236.11	-109.40
	P5	q6~q11	60	天峻县 Tianjun County	3 461.33	98°58'	37°15'	-0.98	232.87	477.67
	P6	q12~q16	50	刚察县 Gangcha County	3 284.60	99°42'	37°12'	-0.60	285.64	217.00
C	P7	q17~q21	50	刚察县 Gangcha County	3 265.40	100°15'	37°16'	-0.20	304.10	707.20
	P8	q22~q27	60	刚察县 Gangcha County	3 337.17	100°38'	37°08'	-0.45	324.55	622.67
	P9	c1~c5	50	格尔木市 Golmud	4 194.60	94°16'	35°44'	-2.44	186.49	-3 958.20
C	P10	c6~c10	50	曲麻莱县 Qumalai County	4 525.80	93°37'	35°26'	-3.76	200.85	-1 470.00
	P11	c11~c15	50	治多县 Zhiduo County	4 602.40	93°08'	35°15'	-4.00	205.48	157.20
	P12	c16~c20	50	治多县 Zhiduo County	4 604.60	92°40'	34°23'	-3.52	247.98	-1 086.80
	P13	c21~c25	50	格尔木市 Golmud	4 577.80	92°14'	34°13'	-3.30	251.20	-628.60
	P14	c26~c30	50	格尔木市 Golmud	4 676.80	92°03'	33°42'	-3.56	278.53	-746.80

库获得,采用的是中国1平方公里气象拟合数据提取值(数据来源:人地系统主题数据库 <http://www.data.ac.cn>)。

1.3 数据处理

(1)重要值的计算 由于草本植物个体数统计较为困难,同时为使计算的各种指数更具代表性,便于不同群丛间的比较,本文采用各物种的重要值代替个体数进行计算,其公式如下^[16]:

$$\text{重要值(IV)} = (\text{相对频度} + \text{相对盖度})/2$$

(2)数量分类和排序方法 全部野外调查于2005~2007年8月生物量高峰期完成,记录种子植物148种,收集环境参数6个。建立了由90条样带148种植物的重要值组成的植被矩阵和由90条样带6个环境参数组成的环境属性矩阵,应用PCORD 5.0中双向指示种分析(Two-Way Indicator Species Analysis, TWINSPAN)进行植被数量分类,典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)进行样方和环境参数的排序。

2 结果与分析

2.1 研究区群落种子植物区系组成

据样带调查,研究区内紫花针茅草原群落中共出现种子植物148种(表2),隶属81属,26科。其中种数最多的科为禾本科(16属24种)和菊科(12属22种),分别占总种数的16.22%和14.86%;豆科植物为3属18种,占总种数的12.16%;莎草科为2属12种,占8.11%;十字花科6属8种,占5.41%;毛茛科、蔷薇科、玄参科都为7种,各占4.73%;而车前科、忍冬科、麻黄科、瑞香科、紫葳科,分别只有1属1种。可知研究区内紫花针茅草原种子植物主要以禾本科和菊科为主,共占总属数的34.56%,总种数的31.08%,其次,豆科、莎草科、十字花科、毛茛科、蔷薇科、玄参科植物也是重要的组成部分。

研究区紫花针茅草原群落中的植物属可划分为10个区系分布区类型(表3)。其中,北温带分布属的数量占首位(36属81种),世界分布属的数量次之(10属29种),中国特有属2个(2种),其它7种分布类型共33属36种,占总属数的40.74%,总种数的24.32%。

2.2 青海高原紫花针茅草原群落数量分类

TWINSPAN中,根据各物种重要值选用的假种5级:0~2、2~5、5~10、10~20和>20,用来划分的每一组中样地个数的最小值为5(小于5的组

不再进行划分),最大划分分级水平(LEVEL)为3。每次划分(DIVISION)的最多区别种数目为5。青海省紫花针茅草原群落TWINSPAN分类的结果见图1,90条样带被划分为8个群丛,群丛基本特点描述如下:

(1)紫花针茅+川青早熟禾+西北针茅群丛(Ass. *Stipa purpurea* + *Poa indattenuata* + *Stipa sareptana* var. *krylovii*):该群丛类型包含样带q12~q27,分布在研究区B刚察县。群落总盖度为57.00%~90.00%,平均总盖度72.26%。紫花针茅平均相对盖度为51.83%,平均重要值为29.43。次优势种川青早熟禾和西北针茅的重要值分别为7.99和7.78。伴生种按重要值大小依次有多枝黄芪(*Astragalus polycladus*)、大花嵩草(*Kobresia macrantha*)、伊凡苔草(*Carex ivanova*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、三辐柴胡(*Bupleurum triradiatum*)、

表2 研究区紫花针茅草原群落种子植物组成

Table 2 The seed plant composition of *S. purpurea* steppe in the study area on the Qinghai Plateau

科 Family	属数 No. of genera	占总属的 百分比 Ratio/%	种数 No. of species	占总种数的 百分比 Ratio/%
禾本科 Gramineae	16	19.75	25	16.89
菊科 Compositeae	12	14.81	22	14.86
豆科 Leguminosae	3	3.70	18	12.16
莎草科 Cyperaceae	2	2.47	12	8.11
十字花科 Cruciferae	6	7.41	8	5.41
毛茛科 Ranunculaceae	6	7.41	7	4.73
蔷薇科 Rosaceae	3	3.70	7	4.73
玄参科 Scrophulariaceae	4	4.94	7	4.73
龙胆科 Gentianaceae	2	2.47	6	4.05
伞形科 Umbelliferae	4	4.94	4	2.70
石竹科 Caryophyllaceae	2	2.47	4	2.70
报春花科 Primulaceae	1	1.23	3	2.03
藜科 Chenopodiaceae	3	3.70	3	2.03
紫草科 Boraginaceae	2	2.47	3	2.03
百合科 Liliaceae	1	1.23	2	1.35
唇形科 Labiateae	2	2.47	2	1.35
大戟科 Euphorbiaceae	1	1.23	2	1.35
蓼科 Polygonaceae	2	2.47	2	1.35
苋科 Amaranthaceae	1	1.23	2	1.35
罂粟科 Papaveraceae	2	2.47	2	1.35
鸢尾科 Iridaceae	1	1.23	2	1.35
车前科 Plantaginaceae	1	1.23	1	0.68
麻黄科 Ephedraceae	1	1.23	1	0.68
忍冬科 Caprifoliaceae	1	1.23	1	0.68
瑞香科 Thymelaeaceae	1	1.23	1	0.68
紫葳科 Bignoniaceae	1	1.23	1	0.68
合计 Total	81	100	148	100

表3 研究区紫花针茅草原群落种子植物属的分布区类型

Table 3 The generic areal-types of seed plants in *S. purpurea* steppe communities

分布区类型 The generic areal-type	属数 No. of genera	占总属的百分比 Ratio/%	种数 No. of species	占总种数的百分比 Ratio/%
北温带分布 North temperate	36	44.44	81	54.73
世界分布 Cosmopolitan	10	12.35	29	6.76
旧世界温带分布 Old world temperate	10	12.35	10	19.59
温带亚洲分布 Temp. Asia	8	9.88	9	6.08
东亚分布 E. Asia	6	7.41	8	5.41
中亚分布 M. Asia	4	4.94	4	2.70
地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, W. Asia to C. Asia	3	3.70	3	2.03
中国特有 Endemic to China	2	2.47	2	1.35
东亚和北美间断 E. Asia and N. America	1	1.23	1	0.68
泛热带分布 Pantropic	1	1.23	1	0.68
合计 Total	81	100	148	100

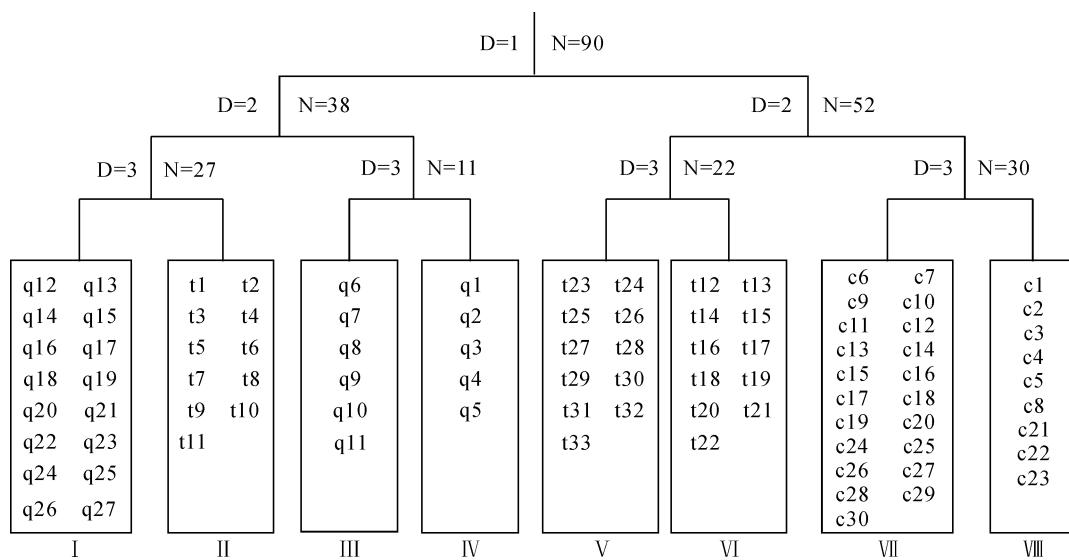


图1 TWINSpan 分类结果树状图

N 代表样方数;D 代表分类次序数;q1~q27,t1~t33,c1~c30 指样号;I~VIII 表示 TWINSpan 划分的群丛类型

Fig. 1 The result dendrogram of TWINSpan of *S. purpurea* steppe

N indicates the number of transects;D means the division order;q1~q27,t1~t33 and c1~c30 mean transect numbers;

I~VIII indicate the ecological associations classified by TWINSpan

异叶青兰 (*Dracocephalum heterophyllum*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、楔叶山莓草 (*Sibalddia cuneata*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*) 和阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*) 等。

(Ⅱ) 紫花针茅 + 川青早熟禾 + 芒治草群丛 (Ass. *Stipa purpurea* + *Poa indattenuata* + *Koleria litvinowii*)：该群丛类型包含样带 t1~t11，分布在研究区 A 同德地区。群落总盖度为 77.00%~98.00%，平均总盖度 93.51%。紫花针茅相对盖度为 56.29%，重要值为 31.33。次优势种川青早熟禾和芒治草的重要值分别为 7.81 和 6.37。伴生种按

重要值大小依次有阿尔泰狗娃花、赖草、二裂委陵菜、大花嵩草、伊凡苔草、双叉细柄茅 (*Ptilagrostis dichotoma*) 和楔叶山莓草等。

(Ⅲ) 紫花针茅 + 矮嵩草群丛 (*Stipa purpurea* + *Kobresia humilis*)：该群丛类型包含样带 q6~q11，分布在研究区 B 天峻县县城以南。群落总盖度为 67.00%~84.00%，平均总盖度 77.25%。紫花针茅的相对盖度为 45.11%，重要值为 27.17。次优势种矮嵩草重要值为 6.95。伴生种按重要值大小依次有钉柱委陵菜 (*Potentilla saundersiana*)、多枝黄芪、伊凡苔草、小早熟禾 (*Poa caliopsis*)、短穗兔儿草 (*Lagotis brachystachya*)、多裂委陵菜 (*Po-*

tentilla multifida)、川青早熟禾等。

(IV) 紫花针茅+多枝黄芪群丛 (Ass. *Stipa purpurea*+*Astragalus polycladus*): 该群丛类型包含样带 q1~q5, 分布在研究区 B 天峻县快尔玛乡。群落总盖度为 70.00%~76.00%, 平均总盖度 73.4%。紫花针茅相对盖度为 54.24%, 重要值为 31.81; 次优势种多枝黄芪的重要值为 9.1; 伴生种按重要值大小依次有伊凡苔草、弱小火绒草 (*Leontopodium humilum*)、小早熟禾、多裂委陵菜、高山嵩草、大花嵩草等。

(V) 紫花针茅+高山嵩草群丛 (Ass. *Stipa purpurea*+*Kobresia pygmaea*): 该群丛类型包含样带 t23~t33, 分布在研究区 A 曲麻莱地区。群落总盖度为 82.5%~94.7%, 平均总盖度 88.62%。紫花针茅相对盖度为 42.91%, 重要值为 26.41。次优势种高山嵩草的重要值为 11.77。伴生种按重要值大小依次有小花细柄茅 (*Ptilagrostis dichotoma* var. *roshevitsiana*)、二裂委陵菜、川青早熟禾、伊凡苔草、茵垫黄芪 (*Astragalus mattam*)、钉柱委陵菜、弱小火绒草、沙生风毛菊 (*Saussurea arenaria*) 和垫状点地梅 (*Androsace tapete*) 等。

(VI) 紫花针茅+二裂委陵菜群丛 (Ass. *Stipa purpurea*+*Potentilla bifurca*): 该群丛类型包含样带 t12~t22, 分布在研究区 A 玛多地区。群落总盖度为 58.8%~90.5%, 平均总盖度 75.45%。紫花针茅的相对盖度为 53.8%, 重要值为 39.26。次优势种二裂委陵菜的重要值分别为 6.67。伴生种按重要值大小依次有弱小火绒草、大花嵩 (*Artemisia macrocephala*)、川青早熟禾、伊凡苔草、茵垫黄芪、沙生风毛菊、楔叶山莓草、平卧轴藜 (*Axyris prostrata*)、粗壮嵩草 (*Kobresia rubusta*) 和毛莲蒿 (*Artemisia sacrorum*) 等。

(VII) 紫花针茅+弱小火绒草群丛 (Ass. *Stipa purpurea*+*Leontopodium humilum*): 该群丛类型包含样带 c6、c7、c9~c20、c24~c30, 主要分布在研究区 C 西大滩以外的地区。群落总盖度为 34.00%~80.00%, 平均总盖度 55.81%。紫花针茅相对盖度为 47.09%, 重要值为 27.33。次优势种弱小火绒草的重要值为 6.32。伴生种按重要值大小依次有伊凡苔草、沙生风毛菊、多枝黄芪、紫羊茅 (*Festuca rubra*)、西藏嵩草 (*Kobresia schoenoides*)、二裂委陵菜、川青早熟禾、青藏苔草 (*Carex moorcroftii*)、梭罗草 (*Kengyilia thoroldia*)、宽叶栓果芹 (*Cortiella caespitosa*)、大花嵩草和扇穗茅 (*Littledalea racemosa*)、大花嵩草和扇穗茅 (*Littledalea racemosa*)。

osa) 等。

(VIII) 紫花针茅+梭罗草群丛 (Ass. *Stipa purpurea*+*Kengyilia thoroldia*): 该群丛包含样带 c1~c5、c8、c21~c23, 主要分布在研究区 C 的西大滩和沱沱河部分地区。群落总盖度为 39.00%~80.00%, 平均总盖度 54.92%。紫花针茅相对盖度为 58.81%, 重要值为 34.31。次优势种梭罗草的重要值为 6.97。伴生种按重要值大小依次有长爪黄芪 (*Astragalus hendersonii*)、沙生风毛菊、多枝黄芪、密丛棘豆 (*Oxytropis densa*)、二裂委陵菜、异蕊芥 (*Dimorphostemon pinnatus*)、冰川棘豆 (*Oxytropis glaciale*)、阿拉善马先蒿 (*Pedicularis alaschanica*) 和伊凡苔草等。

2.3 青海高原紫花针茅草原群落 CCA 排序

为了验证 TWINSPLAN 所划分的群丛的合理性, 并进一步探讨群丛分布与环境因子的关系, 本文对青海高原紫花针茅草原群落 90 条样带及 6 个环境

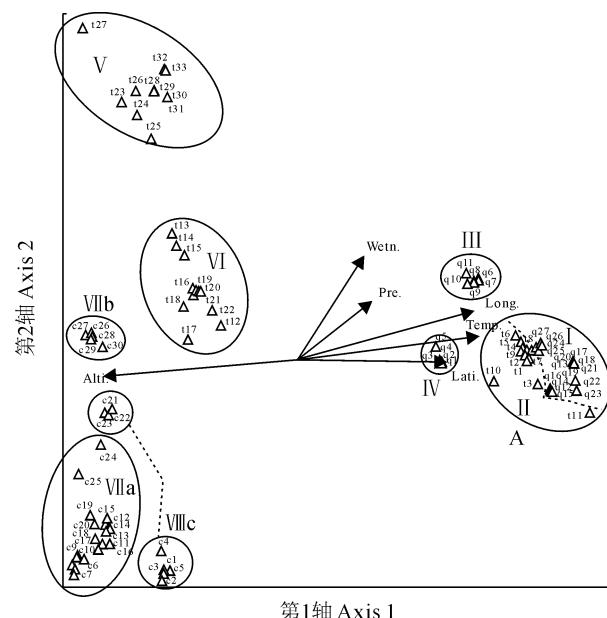


图 2 紫花针茅草原 90 条样带及环境因子的 CCA 排序图

Alti. 表示海拔; Long. 表示经度; Lat. 表示纬度; Temp. 表示年均温度; Wetn. 表示年均湿润度; Pre. 表示年均降雨量; q1~q27、t1~t33、c1~c30 指样带; I~VIII 表示 TWINSPLAN 划分的群丛类型, A, VIIa, VIIb, VIIc 表示调整后的群丛类型

Fig. 2 The CCA ordination diagram of 90 transects and environmental factors of *S. purpurea* steppe
Alti. Refers to altitude; Long. Refers to longatutde; Lat. Refers to Latitude; Temp. Refers to tempreture; Wetn. Refers to wetness; Pre. Refers to precipitation. q1~q27, t1~t33 and c1~c30 mean transect numbers. I~VIII indicate the ecological associations classified by TWINSPLAN, A, VIIa, VIIb, VIIc indicate the adjusted ecological associations

因子进行了 CCA 排序,结果见图 2。CCA 二维排序图中,带有箭头的线段表示不同的环境因子,线段的长短以及和排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴的相关程度。从排序结果看,影响群丛分布的主要环境因子首先是空间因子(海拔、经度、纬度)和热量因子(年均温度),其次是湿润度、降雨量等水分因子。沿着 CCA 排序第一轴从左到右,海拔逐渐降低,温度升高,经纬度变大,群丛类型由紫花针茅十弱小火绒草群丛(VII)过渡到紫花针茅十二裂委陵菜群丛(VI),再到紫花针茅十多枝黄芪群丛(IV),最后为紫花针茅十川青早熟禾十西北针茅群丛(I)和紫花针茅十川青早熟禾十芒治草群丛(II)。沿排序轴第二轴从上到下,水分条件变差,群丛类型由湿润度较大的紫花针茅十高山嵩草群丛(V)逐渐过渡到干旱沙化的紫花针茅十梭罗草群丛(VIII)。TWINSPAN 划分的 8 个群丛在 CCA 排序空间多数被分开,一定程度上正确反映了环境梯度的变化。例如群丛 III、IV、V、VI 在 CCA 排序空间非常明显地分开,得到很好的验证。

另一方面,部分群丛在 CCA 排序图中划分不清晰或环境解释不充分。例如, I、II 群丛和其他群丛分离,分布在 CCA 排序图右侧。这符合样带分布区低海拔高热量的实际地理情况,但两群丛之间的界限不清晰。考虑到两群丛物种组成和环境条件相似,将两者合并为紫花针茅十川青早熟禾群丛(A)。群丛 VII、VIII 分布在 CCA 排序图左下方,样带较分散,内部又自成小集团。为了更充分地解释群丛类型分布格局与环境因子的关系,将 VII、VIII 进一步调整划分为 VIIa、VIIb 和 VIIIc 群丛,特征简述如下:

紫花针茅十沙生凤毛菊群丛(VIIa):包括样带 c6~c25,主要分布在长江源区中部样地 P10、P11、P10 和 P9。紫花针茅的重要值为 28.45,次优势种沙生凤毛菊的重要值为 5.49。伴生种有伊凡苔草、梭罗草、弱小火绒草、青藏苔草、西藏嵩草和二裂委陵菜等,群丛结构在长江源区紫花针茅草原中最均匀。

紫花针茅十弱小火绒草群丛(VIIb):包括样带 c26~c30,主要分布在长江源区最南部的样地 P14。紫花针茅的重要值为 24.11,次优势种弱小火绒草的重要值为 10.06。伴生种有紫羊茅、多枝黄芪、西藏嵩草等,高海拔草甸物种出现较多。

紫花针茅十梭罗草群丛(VIIIc):包括样带 c1~c5,主要分布在长江源区最北部属格尔木市的较干旱地区。紫花针茅的重要值为 38.62,次优势种梭

罗草的重要值为 10.06。伴生种有长爪黄芪、密丛棘豆、多枝黄芪、冰川棘豆等。豆科植物重要值较大,干旱区物种出现较多,群丛结构相对最不均匀。

3 讨 论

本文所调查的紫花针茅草原是物种组成相对比较简单、菊科和禾本科植物最多、北温带分布的属为主体的草原群落。其 90 条样带经过 TWINSPAN 分类和 CCA 补充矫正,共分为 8 个群丛类型:紫花针茅十川青早熟禾群丛 A (Ass. *Stipa purpurea* + *Poa indattenuata*)、紫花针茅十矮嵩草群丛(III)、紫花针茅十多枝黄芪群丛(IV)、紫花针茅十高山嵩草群丛(V)、紫花针茅十二裂委陵菜群丛(VI)、紫花针茅十沙生凤毛菊群丛 VIIa (Ass. *Stipa purpurea* + *Saussurea arenaria*)、紫花针茅十弱小火绒草群丛 VIIb 和紫花针茅十梭罗草群丛 VIIIc。这 8 个群丛在 CCA 排序图中得到了较好的区分,环境因子对群丛分布格局有较好的解释。群丛 A 以川青早熟禾为次优势种,分布于海拔较低、年均温高、位于青海东部的刚察县和同德县(表 1),在 CCA 排序图中位于最右端。群丛 VIIb 分布于海拔相对最高、年均温度低、位于青海西南部的样地 P14(表 1),在 CCA 排序图中位于最左端。群丛 V 分布在青海南部曲麻莱县城附近,海拔高但湿润度大,位于 CCA 排序图左上端,其次优势种高山嵩草生长在高海拔较湿润地区,经常作为草甸的建群种,再次显示了与分布区环境因子的高相关性。群丛 VIIIc 以耐旱性强的梭罗草为次优势种,分布于水分条件最差的格尔木市,在 CCA 排序图中位于最下端,降雨量和湿润度负向最大区。群丛 VI 分布于经度、海拔、水分都相对居中的玛多地区,在 CCA 排序图中也处于过渡区。

本研究中影响青海高原紫花针茅草原群丛分布的主要环境因子首先是空间因子(海拔、经度、纬度)和热量因子(年均温度),其次是湿润度、降雨量等水分因子。这种分布特点证明紫花针茅高寒草原对地带性气候、空间隔离等敏感性较强,环境指示作用大,也符合张新时描述的青藏高原上最广布的地带性植被是紫花针茅高寒草原^[17]。其他地区的相关研究也显示海拔等空间因子是影响紫花针茅草原分布的主要环境因子^[18]。除此之外,紫花针茅草原群丛分布还可能受土壤类型和样带微环境(坡向、退化程度)等的影响。例如群丛 VIIb 中样带 c21~25 分布在长江源沱沱河地区,河谷土壤类型变化较大,样带在 CCA 排序空间离散,环境解释不足。今后研

究中可根据各地区不同的限制因子以及环境因子间的互作关系深入探讨群丛分布与多维环境因子的关系。

TWINSPAN 是当今使用最多的数量分类方法。它同时进行样方和物种分类,以二歧式分割法划分植物群落类型,其根据“指示种”将群落与种类组成依次划分为各个等级的类型单位或生态类群,可反映出种类与样方间的关系及重要的环境梯度。CCA 是由 CA/RA 修改而成的方法。它是把 CA/

RA 和多元回归结合起来,每一步计算结果都与环境因子进行回归,进而更详细地研究植被与环境的关系^[19]。典型的紫花针茅草原均是紫花针茅占据绝对优势的群落,其内部群丛差异相对不明显,主要是次优势种和群落结构的不同。本研究中结合使用 TWINSPAN 和 CCA 进行群丛分类,结果较好地反映了群丛特征与环境间的相关性,使分类结果更符合实际生态意义。

参考文献:

- [1] CHANG D H S. The Tibetan Plateau in relation to the vegetation of China[J]. *Annals of the Missouri Botanical Gardens*, 1983, **70**(3): 564—570.
- [2] WANG J T, LI B S. Main types and characteristics of high-cold steppe in the Qiangtang Plateau of Xizang[J]. *Acta Phytocoeologica et Geobotanica Sinica*, 1982, **6**(1): 1—13.
- [3] ZHENG D, ZHANG R Z, YANG Q Y. On the natural zone in the Qinghai Xizang Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1979, **34**(1): 1—11.
- [4] ZHANG J W(张经炜). The basic steppe characteristics and zonal significance in southeast Qiangtang Plateau[J]. *Journal of Plant Ecology(植物生态学与地植物学丛刊)*, 1963, **1**(1/2): 131—140(in Chinese).
- [5] GUO B ZH(郭本兆), SUN Y H(孙永华). A preliminary study on the classification, distribution and ecological nature of genus *Stipa* l. of China[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica(植物分类学报)*, 1982, **20**(1): 34—43(in Chinese).
- [6] GUO K. Vegetation of Qinghai Hoh Xil Region[J]. *Acta Phytocoeologica Geobotanica Sinica*, 1993, **17**(2): 120—132.
- [7] HE P(何萍), GUO K(郭柯), GAO J X(高吉喜), et al. Vegetation types and their geographic distribution in the source area of the Yarlung Zangbo[J]. *Journal of Mountain Science(山地学报)*, 2005, **23**(3): 267—273(in Chinese).
- [8] LIU Y(刘洋), PENG M(彭敏), LU X F(卢学峰), et al. Interspecific association analysis in *Stipa purpurea* community in Batan area in Qinghai[J]. *Pratacultural Science(草业科学)*, 2007, **24**(2): 1—5(in Chinese).
- [9] LIU Y(刘洋), HU G(胡刚), LIANG SH CH(梁士楚), et al. Interspecific associations analysis of *Stipa purpurea* community in Tuotuo River Area[J]. *Guizhou Botany(广西植物)*, 2007, **27**(5): 720—724(in Chinese).
- [10] LI M S(李明森). Rational exploitation of grassland resources in the Northern Xizang Plateau[J]. *Journal of Natural Resources(自然资源学报)*, 2000, **15**(4): 335—339(in Chinese).
- [11] MA SH ZH(马世震), PENG M(彭敏), CHEN G CH(陈桂琛), et al. Feature analysis of vegetation degradation on alpine grassland in Yellow River Source Region[J]. *Pratacultural Science(草业科学)*, 2004, **21**(10): 19—23(in Chinese).
- [12] YUE P P(岳鹏鹏), LU X F(卢学峰), YE R R(叶润蓉), et al. Community characteristics of *Stipa purpurea* steppe in source regions of Changjiang and Huanghe Rivers, China[J]. *Journal of Plant Ecology(植物生态学报)*, 2008, **32**(5): 1116—1125(in Chinese).
- [13] GUO ZH G(郭正刚), WANG G X(王根绪), SHEN Y Y(沈禹颖), et al. Plant species diversity of grassland plant communities in permafrost regions of the Northern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2004, **24**(1): 149—155(in Chinese).
- [14] ZHENG G G, RUI J L, FU J N, et al. Effect of highway construction on plant diversity of grassland communities in the permafrost regions of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Rangeland Journal*, 2007, **29**(2): 161—167.
- [15] HU Y K(胡玉昆), LI K H(李凯辉), ALIDE M D(阿德力麦地), et al. Plant species diversity of alpine grasslands on southern slope of Tianshan Mountain along altitude gradient[J]. *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2007, **26**(2): 182—186(in Chinese).
- [16] KURAMOTO R T, BLISS L C. Ecology of subalpine meadows in the Olympic Mountains, Washington[J]. *Ecological Monographs*, 1970, **40**(3): 317—347.
- [17] ZHANG X SH(张新时). The plateau zonality of vegetation in Xizang[J]. *Acta Botanica Sinica(植物学报)*, 1978, **20**(2): 140—149(in Chinese).
- [18] YUE P P, LU X F, YE R R, et al. Distribution of *Stipa purpurea* steppe in the Northeastern Qinghai-Xizang Plateau, China[J]. *Russian Journal of Ecology*, 2011, **42**(1): 50—56.
- [19] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社, 2004: 157—213.