

DOI: 10.5846/stxb201301210123

常兆丰, 张剑挥, 王强强, 朱淑娟, 张大彪, 樊宝丽, 唐进年, 刘世增, 张国中, 李爱德. 河西绿洲边缘积沙带形成的典型相关因子. 生态学报, 2014, 34(20): 5823-5831.

Chang Z F, Zhang J H, Wang Q Q, Zhu S J, Zhang D B, Fan B L, Tang J N, Liu S Z, Zhang G Z, Li A D. Canonical correlation factors causing the formation of accumulated sand-belts along the oasis fringe in Hexi corridor. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 5823-5831.

河西绿洲边缘积沙带形成的典型相关因子

常兆丰^{1,2}, 张剑挥^{1,2,*}, 王强强^{1,2}, 朱淑娟^{1,2}, 张大彪^{1,2}, 樊宝丽^{1,2},
唐进年^{1,2}, 刘世增^{1,2}, 张国中^{1,2}, 李爱德^{1,2}

(1. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 民勤 733300; 2. 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘要: 绿洲边缘积沙带的形成因素及其生态效应是一个新的科学问题。为了研究河西绿洲边缘积沙带的形成原因, 运用方差分析、相关分析以及典型相关分析等方法, 对河西绿洲边缘积沙带的 21 个样点的观测资料进行了分析。结果表明: 河西绿洲边缘积沙带的分布趋势大致为东高西低、东宽西窄, 大部分地段目前处于稳定阶段; 积沙带上的优势种植物以天然柽柳最多, 不同优势种植物的积沙带的迎风坡植被盖度及植被纯盖度差异较显著。典型相关分析结果表明: 积沙带的高度和宽度是降水量、到沙源的距离、背风坡植被盖度和年平均风速等气候环境因子共同作用的结果。积沙带的生态效应: 一是自身作为一种障碍物的防护作用, 二是阻截、减少流沙流沙进入农田的作用。

关键词: 积沙带高度; 积沙带宽度; 气候环境因子; 典型相关因子; 生态效应; 甘肃河西

Canonical correlation factors causing the formation of accumulated sand-belts along the oasis fringe in Hexi corridor

CHANG Zhaofeng^{1,2}, ZHANG Jianhui^{1,2,*}, WANG Qiangqiang^{1,2}, ZHU Shujuan^{1,2}, ZHANG Dabiao^{1,2}, FAN Baoli^{1,2}, TANG Jinnian^{1,2}, LIU Shizeng^{1,2}, ZHANG Guozhong^{1,2}, LI Aide^{1,2}

1 Minqin National Station for Desert Steppe Ecosystem Studies, Minqin, Gansu 733300, China

2 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070, China

Abstract: Accumulated sand-belts refer to those formed along the oasis fringe, especially at the upwind location, due to the accumulation of sand blocked by farmland windbreak. In the 60 years since the foundation of new China, a lot of trees have been planted for desertification combating in northwest and north China, thus, accumulated sand-belts were formed at the upwind location. The formation and the ecological effects of the accumulated sand-belts along the oasis fringe is a new scientific concern. To study the formation causes of these belts in Hexi corridor, 21 samples were selected, and the height/width of the belts, as well as the vegetation, soil, soil moisture and climatic factors were investigated. This paper analyzed the correlation between the height/width of the belts and the vegetation, soil, soil moisture and climatic factors using the methods of variance analysis, correlation analysis and canonical correlation analysis. The results indicate that: the accumulated sand-belts take a trend of being high and wide in the east whereas low and narrow in the west, and most of the parts tend to be stable; the species on the belts are dominated by *Tamarix austromongolica*, the vegetation cover and the pure vegetation cover of different dominant species on the leeward slope of the accumulated sand-belts vary significantly. The canonical correlation analysis shows that: the height and width of accumulated sand-belt is the interaction of precipitation,

基金项目: 国家自然科学基金(41261102); 国家 973 前期(2011CB411912)

收稿日期: 2013-01-21; 网络出版日期: 2014-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: czf123@sina.com

distance to the sand source, leeward vegetation cover and annual average wind speed. Moreover, the height of accumulated sand-belts are negatively correlated to the soil moisture at the depth of 30—50cm, air humidity and leeward vegetation cover, and the width of the belts is also negatively correlated with the distance to the sand source. The ecological effects of the accumulated sand-belts are both positive (stopping sands from moving into farmland, protective role as an obstacle) and negative (when the belts decay and activate one day, they will become the new sand sources). At present, there are no signs showing the negative effects of the belts. The ecological effects of the accumulated sand-belts are: firstly the protective role as an obstacle, and secondly to intercept and reduce the sands moving into farmlands. Whether by use single correlation analysis method or by use canonical correlation analysis method, the results show that the accumulated sand-belt height and width are closely related with annual precipitation, by use principal factor analysis method, the results also show that the contribution of annual precipitation in climatic and environmental factors in the maximum rate. In Hexi oasis edge, accumulated sand-belt distribution trends roughly east accumulated sand-belt higher and wider than west accumulated sand-belt, accumulated sand-belts discontinuous distribution with oasis distribution, most of the area is currently in a stable stage, if as long as no damage, then after 70—80 years that accumulated sand-belt is still not activated to cause harm.

Key Words: height of accumulated sand-belt; width of accumulated sand-belt; climatic and environmental factors; canonical correlation factors; ecological effects; Hexi of Gansu

自 1949 年新中国成立 60 多年来,我国西北广大沙区防沙治沙取得了巨大成就,在西北、华北绿洲边缘形成了大量的防风固沙林带,对保护农田起到了至关重要的作用^[1]。

在西北干旱区,除农田林网和农业节水措施以外,不论是造林治沙、机械沙障压沙,还是封沙育林育草,几乎所有的防沙治沙措施的实施都在绿洲边缘,尤其是上风向,于是在沙区绿洲边缘尤其上风向形成了一条流沙堆积带,“即积沙带”。

截至目前国内外尚没有积沙带的研究,与之相关或相近的,一是植物阻沙、积沙的研究。研究表明,在营造固沙灌木林后,林带内积沙厚度增加^[2]。对固沙林不同密度与输沙量和风蚀量关系的研究表明,植被盖度越高,土壤风蚀程度越轻,输沙量越少^[3],不同风速下土壤风蚀量随植被盖度的增加呈指数规律减少。二是在风沙流结构方面国内外学者作了大量研究,既有理论分析和数值模拟^[4-6],也有野外观测,但最多的是风洞实验^[7-8]。我国学者的研究表明,在各种风速条件下,输沙量分布沿垂向呈指数递减规律,随着水平距离的增加输沙量亦呈指数递减规律,其衰减速率与风速密切相关^[9]。三是灌丛沙堆研究。目前,从地貌学的角度对灌丛沙堆的形态和发育已经有了较系统的研究^[8-9]。国外学者对灌丛沙堆的形态、沉积学、生态学和动力过程^[10-13]

等方面进行了较系统的研究。国内学者通过样方调查,认为植物生长状况和沙源是控制沙堆单体规模的主要因素,灌丛沙堆沉积物属短距离风力搬运、风选的产物^[14]。白刺沙堆和怪柳沙堆是西北沙区分布最广泛的灌丛沙堆,对保护绿洲安全有重要作用^[15]。有学者研究了唐古特白刺灌丛沙堆的不同分布格局、成因及其生态学意义和防风效应^[16]。夏训诚等^[17]的研究表明,在新疆罗布泊地区红柳沙堆高度可达 10 m,可有 100—200 a 的历史。四是荒漠-绿洲过渡带研究。荒漠-绿洲过渡带是干旱区的生态敏感带^[18],因此也是近些年来的研究热点。这方面的研究主要围绕着植物群落及其时空变化与多样性、植物群落的空间异质性、植物的生态位、土壤粒度及其水分、灌丛沙堆的异质性、荒漠化过程以及生态恢复与重建等^[19-21]方面进行的。

积沙带的形成是各种气候环境因子共同作用的结果。如果积沙带的生态功能是正向的,即有利于防风阻沙,就应该寻找并充分发挥有利于积沙带形成的气候环境因子;如果积沙带的生态功能是负向的,即不利于防风阻沙,就应该寻找并设法控制有利于积沙带形成的气候环境因子。那么,积沙带的形成和发育主要与哪些气候环境因子有关,积沙带与气候环境因子的关系有何生态学意义,这就是本文试图回答的问题。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

甘肃河西地区系指境内黄河以西武威、金昌、张掖、酒泉、嘉峪关 5 市,下辖 20 个区县,地理位置在 $92^{\circ}45' E-104^{\circ}15' E$ 、 $36^{\circ}35' N-42^{\circ}45' N$ 之间。该区南侧为祁连山脉,东、东北和西面依次被腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和库姆塔格 3 大沙漠包围,境内有沙漠和零星沙地 $7.54 \times 10^2 \text{ km}^2$ (图 1)。走廊大部分

区域属干旱区,最西端的敦煌、瓜州属于极端干旱区。

该区历史上是我国重风沙危害区和主要的沙尘源区。新中国成立后,1950 年河西走廊沙区在农田边缘开始了大规模造林治沙活动。2008 年 12 月 19 日《甘肃日报》报道,在河西地区北部风沙沿线形成了长达 1200 km 的防风固沙林带,治理大小风沙口 470 余处,沙化扩展趋势基本遏制,风沙危害和沙尘暴发生频率不断降低。

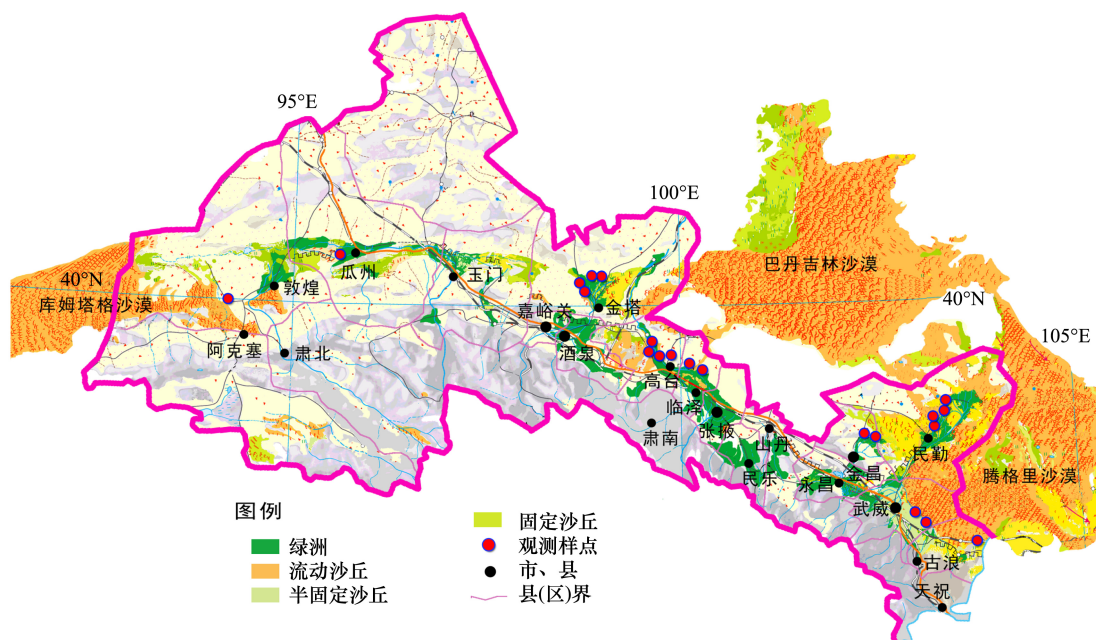


图 1 样点位置图

Fig.1 Location of sample points

1.2 观测调查方法

本文在河西绿洲边缘积沙带上共选择了 21 样点(图 1),在每个样点上沿垂直农田边缘设置样线(从农田边缘到沙漠内部平缓处),测定了样线(积沙带在该样点的横断面)的宽度和高度(积沙带轮廓线),积沙带轮廓线由 6—19 个测点组成(平均 14.1 个测点)。沿该样线上设置 5—7 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的植物调查样方,在样方内调查了样线上的植物种类、植株高度、植株冠幅、植被盖度和冠幅内纯盖度。纯盖度在植株冠幅内用目测法测得。并于每个样点上,沿积沙带轮廓线依次从背风坡底部、背风坡中部、积沙带顶部、迎风坡中部、迎风坡底部和平缓沙地挖取土壤剖面,土壤取样深度为 0、10、30 cm 和 50 cm (图 2)。气候资料采用当地气象站 1971—2010 年资料和中国气象科学数据共享服务网资料。

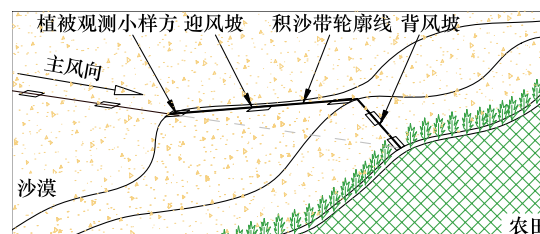


图 2 积沙带轮廓线观测示意图

Fig.2 Contour observational diagram of sand-accumulation belt

样方内的植被盖度进行实测。植被纯盖度为植株投影面积占样地面积的百分比,即在单株调查时扣除了冠幅内的孔隙,单株的冠幅内空隙度以目估获得^[22]。积沙带到沙源的距离在 Google earth 图像上测定,即先在 Google earth 图像上找到观测样点,再按当地主风方向测取与最近沙源的距离。

1.3 数据处理方法

本文采用的数据分析方法全为常规方法,包括方差分析、相关分析、典型相关分析,即用方差分析方法分析检验不同优势种植物积沙带的高度、宽度和植被盖度差异;用相关分析方法分析积沙带高度和宽度以及各气候环境因子之间的关系;用典型相关分析揭示积沙带特征与气候环境因子之间的线性组合关系;并运用主因子分析方法对气候环境因子进行了排序,以作为典型相关分析结果的佐证。风向从 N 开始,按顺时针方向分别以 0、1、2、⋯、15 表示风向。数据分析用 SPSS13.0 完成,其中典型变量表示:

$$U_i = A_1X_1 + A_2X_2 + \cdots + A_nX_n$$
$$V_i = B_1Y_1 + B_2Y_2 + \cdots + B_mY_m$$

(1)

式中, U_i 为第 i 组气候环境因子变量, $X_1、X_2、\cdots、X_n$ 为 n 个气候环境因子, $A_1、A_2、\cdots、A_n$ 为各因子对应的系数; V_i 为第 i 组积沙带特征变量, $Y_1、Y_2、\cdots、Y_m$ 为积沙带的 m 个特征,本文中 Y_1 为积沙带高度, Y_2 为积沙

带宽度, B_1 和 B_2 分别为 Y_1 和 Y_2 的系数。

2 结果与分析

2.1 积沙带的状态

2.1.1 发育状态

河西地区绿洲呈斑块状、带状分布,绿洲边缘积沙带为断续状蜿蜒分布,长约 1060 km,东段古浪—武威—民勤—金昌绿洲边缘较完整,西段金塔—玉门—瓜州—敦煌断缺较多(图 1)。积沙带的高度也是东高西低,即东段古浪—武威—民勤—金昌绿洲边缘平均高 13.7m,中段张掖—临泽—高台绿洲边缘平均高 8.3 m,西段金塔—玉门—瓜州—敦煌边缘平均高 6.6 m。积沙带的宽度是,东段古浪—武威—民勤—金昌绿洲边缘平均宽 333.5 m,中段张掖—临泽—高台绿洲边缘平均宽 151.7 m,西段金塔—玉门—瓜州—敦煌边缘平均宽 108.9 m(表 1),积沙带的高度与宽度为极显著正相关($P<0.01$)。

表 1 积沙带的高度和宽度
Table 1 Height and width of accumulated sand-belt

样点编号 Sample No.	积沙带高度 Height /m	积沙带宽度 Width /m	宽度/高度 Ratio of width and height	样点编号 Sample No.	积沙带高度 Height /m	积沙带宽度 Width /m	宽度/高度 Ratio of width and height
1 (古浪)	37.90	1210.85	31.9	12 (高台 1)	10.37	174.7	16.85
2 (武威 1)	5.52	320.11	58	13 (高台 2)	10.25	158.9	15.50
3 (武威 2)	3.94	169.7	43.1	14 (高台 3)	4.96	90.8	18.30
4 (民勤 1)	17.09	208.68	12.2	15 (高台 4)	6.13	107.2	17.49
5 (民勤 2)	15.22	232.15	15.3	16 (金塔 1)	10.18	145.9	14.33
6 (民勤 3)	18.62	288.5	15.5	17 (金塔 2)	5.12	133.4	26.06
7 (民勤 4)	5.57	245.89	44.1	18 (金塔 3)	7.10	133.3	18.77
8 (金昌 1)	9.70	160.15	16.5	19 (金塔 4)	6.52	99.5	15.25
9 (金昌 2)	9.70	165.75	17.1	20 (瓜州)	4.00	101.8	25.44
10 (临泽 1)	8.53	212.93	25	21 (敦煌)	6.64	39.5	5.95
11 (临泽 2)	8.72	178.62	20.5	平均 Average	10.08	218.0	22.53

样点 4、5、6 号沙丘顶部有柴草沙障

2.1.2 植被状态

河西绿洲边缘积沙带上的植被盖度西段相对较高,东段次之,中段最低;积沙带迎风坡的植被盖度较背风坡均匀(图 3)。

积沙带上的植被以怪柳 *Tamarix austromongolica* 沙包和白刺 *Tamarix austromongolica* 沙包最为典型,其他天然植被主要有沙蒿 *Artemisia arenaria* 和泡泡刺 *Nitraria sphaerocarpa* 等,人工植被主要是梭梭

Haloxylon ammodendron(表 2)。由表 2 可以看出:1)积沙带迎风坡植被盖度较高,背风坡很低,大部分样点的背风坡几乎无植被;2)积沙带上植被稀疏,植被纯盖度不足植被冠幅盖度的 1/3;3)除了东端古浪绿洲边缘和西端金塔绿洲边缘外,中段绿洲边缘积沙带的背风坡基本无植被;4)西端积沙带上的怪柳的纯盖度较高,约占冠幅盖度的 1/2 甚至以上。

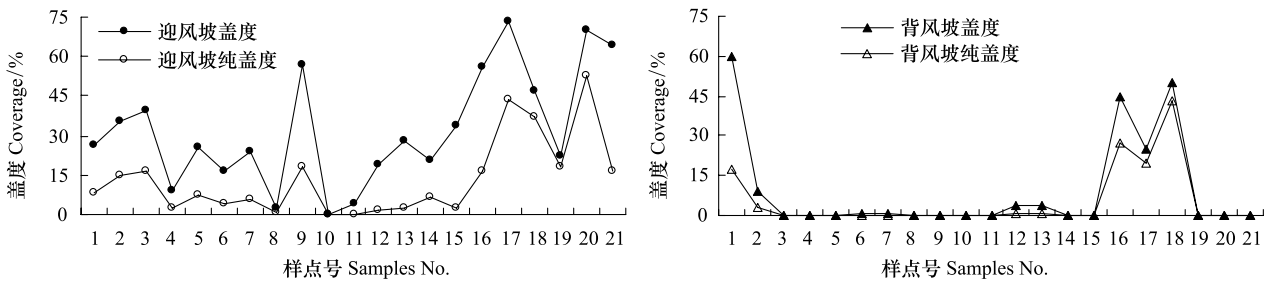


图3 积沙带植被盖度
Fig.3 Vegetation cover on the accumulated sand-belt

2.2 积沙带高度与建群种植物的关系

21 个样点按优势种植物可分为以下 6 类:1) 沙蒿群落(1、8、13 号样点),2) 梭梭人工林群落(2、3 号样点),3) 柽柳群落顶部有沙障(4、5、6 号样点),4) 柽柳群落(7、9、11、16、17、18、19、20、21 号样点),5) 白刺群落(14、15 号样点),6) 其他,如沙地旋复花 *Inula salsoloides*、沙米 *Agriophyllum squarrosum* 等(图 4)。由图 4 可以看出:1) 走廊东端主要是沙蒿、梭梭群落和柽柳+沙障等人工措施,走廊西端主要是天然柽柳沙包;2) 沙蒿群落的积沙带高度变差最大,在河西走廊东端古浪沙区可达 37.9 m。梭梭积沙带最低,柽柳积沙带顶部增加设沙障会显著增加积沙带的高度(平均较无沙障的柽柳积沙带高约 10 m);3) 柽柳沙包积沙带居多,在全部 21 个样点中占 12 个。分别以上述 6 种优势种植被类型作方差检验

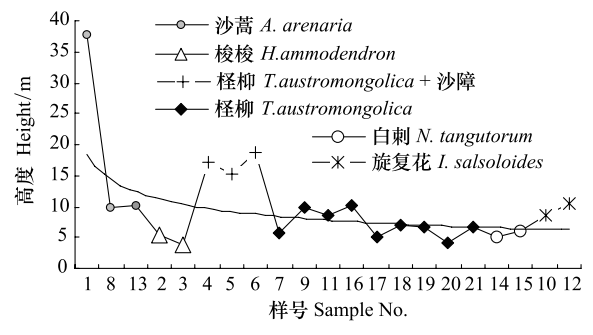


图4 不同优势种植物的积沙带高度
Fig.4 The height of s accumulated sand-belts with different dominant species

(表 2),由表 2 可见,其中只有积沙带迎风坡植被盖度和植被纯盖度在 6 种植物群落之间差异显著($P < 0.05$)。

表 2 按优势种植物统计的积沙带高度和植被盖度

Table 2 Height of the sand-accumulation belts and the vegetation cover (classified according to the dominant species)									
优势种 Dominant species	样方号 Sample No.	积沙带 Accumulated sand-belt		植被盖度 Vegetation cover/%					
		高度 Height	宽度 Width	总的 Total		迎风坡 Windward slope		背风坡 Leeward slope	
				盖度 Coverage	纯盖度 Pure coverage	盖度 Coverage	纯盖度 Pure coverage	盖度 Coverage	纯盖度 Pure coverage
沙蒿 <i>A. arenaria</i>	1, 8, 13	19.28	509.97	20.10	5.04	18.94	4.05	21.26	6.03
梭梭 <i>H. ammodendron</i>	2, 3	4.73	244.91	20.96	8.63	37.42	15.70	4.49	1.56
柽柳 <i>T. austromongolica</i>	4, 5, 6	16.98	243.11	8.72	2.52	17.08	4.92	0.36	0.12
柽柳 <i>T. austromongolica</i>	7, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21	6.67	137.22	27.36	15.95	45.25	23.94	9.47	7.96
白刺 <i>N. tangutorum</i>	14, 15	5.55	99.00	13.75	2.31	27.50	4.62	0.00	0.00
其他 Other	10, 12	9.45	193.82	5.84	0.60	9.68	1.01	2.00	0.20
方差检验 Variance test		0.054	0.340	0.102	0.096	0.014 *	0.039 *	0.680	0.669

** 为极显著相关 ($P < 0.01$), * 为显著相关 ($P < 0.05$), -表示负相关

2.3 积沙带的形成因子

2.3.1 单相关分析

相关分析结果表明:积沙带的高度与降水量、平均风速以及到沙源距离为极显著正相关($P<0.01$),与背风坡植被盖度为显著正相关($P<0.05$);积沙带的宽度与降水量、空气相对湿度、30—50 cm 土壤含

水率、沙源距离、背风坡植被盖度以及地下水位为极显著正相关($P<0.01$),与年平均风速为显著正相关($P<0.05$)(表 3)。

从表 3 中可见,积沙带的高度和宽度只与上述几个因子显著相关,然而,这些气候环境因子内部又是相互作用的(表 4)。

表 3 积沙带高度、宽度与气候环境因子的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the height / width of accumulated sand-belts and the climatic factors

因子 Factors	因子编号 Factor No.	积沙带高度 Height of accumulated sand-belt	积沙带宽度 Width of accumulated sand-belt
降水量 Precipitation	X_1	0.761 **	0.925 **
蒸发量 Evaporation	X_2	-0.112	-0.298
相对湿度 Relative humidity	X_3	0.432	0.615 **
平均风速 Average wind speed	X_4	0.572 **	0.495 *
大风日数 Windy days	X_5	-0.135	-0.258
沙尘暴日数 Sandstorms days	X_6	-0.078	-0.17
最大风向 Gale wind direction	X_7	0.117	0.153
沙源距离 Distance to sand sources	X_{10}	0.869 **	0.756 **
土壤水分	0—30cm X_8	0.135	0.389
Soil moisture content	30—50cm X_9	0.413	0.604 **
迎风坡植被盖度	盖度 Cover X_{11}	-0.282	-0.182
Coverage on windward slope	纯盖度 Pure cover X_{12}	-0.305	-0.169
背风坡植被盖度	盖度 Cover X_{13}	0.482 *	0.567 **
Coverage on leeward slope	纯盖度 Pure cover X_{14}	0.14	0.186
沙面结皮 Crust	X_{15}	0.15	0.261
是否灌丛 Bushes	X_{16}	-0.214	-0.385
地下水位 Water table	X_{17}	0.389	0.563 **

** 为极显著相关($P<0.01$), * 为显著相关($P<0.05$), -表示负相关

表 4 气候环境因子之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between the climatic and environmental factors

因子编号 Factor No	相关因子 Related factors															
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
X_2	- *															
X_3	**	**														
X_4																
X_5			**	**	**											
X_6				- **	**	**										
X_7						- **	- **									
X_8	**	*						*								
X_9	**	*						*	**							
X_{10}	**	*		**						*						
X_{11}																
X_{12}							- **				**	*				
X_{13}																
X_{14}												*	**	*	*	
X_{15}	- *	*	*	- *												
X_{16}	**	*						**	*							
X_{17}								**	*					*		

** 为极显著相关($P<0.01$), * 为显著相关($P<0.05$), -表示负相关

2.3.2 典型相关分析

单相关分析结果只反映了积沙带高度和宽度与相互独立的气候环境因子之间的关系。显然,积沙带的发育是多种气候环境因子共同作用的结果,由表 4 可以看出,17 个气候环境因子之间无一例外地发生着相互作用,因此,如果仅凭单相关分析结果,就无法正确反映气候环境因子对积沙带形成和发育的共同作用。

全部 17 个气候环境因子与积沙带高度和宽度的典型相关分析表明,虽然典型相关系数较高,但结果是典型变量 U_1 和 U_2 所表达的信息量很低,即 U_1 和 U_2 分别仅仅表达了全部 17 个因子信息量的 22.3% 和 5.9%。

逐步删除其系数的绝对值最小的因子,直到仅保留因子 X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_9 、 X_{13} 和 X_{17} 共 7 个系数绝对值较大的因子,做典型相关分析:

$$\begin{aligned} U_1 &= -0.506X_1 - 0.109X_3 - 0.164X_4 + 0.059X_9 - \\ &\quad 0.338X_{10} - 0.263X_{13} + 0.025X_{17} \\ V_1 &= -0.256Y_1 - 0.767Y_2 \\ U_2 &= 0.091X_1 + 0.286X_3 + 0.119X_4 + 0.909X_9 - \\ &\quad 1.175X_{10} + 0.273X_{13} - 0.160X_{17} \\ V_1 &= -2.081Y_1 + 1.951Y_2 \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中,第 1 对典型变量 U_1 和 V_1 为极显著 ($R=0.986, P<0.01$), U_1 所表达的信息量占 7 个因子全部信息量的 40.7%, V_1 表达的信息量分别占 2 个因子的 92.6%;第 2 对典型变量 U_2 和 V_2 为较显著 ($R=0.756, P<0.05$), U_2 所表达的信息量占 7 个因子全部信息量的 11.3%, V_2 表达的信息量占 2 个因子的 7.4%。 U_1 和 U_2 合计所表达的信息量占 7 个因子全部信息量的 52.0%; V_1 和 V_2 合计所表达的信息量占 2 个因子全部信息量的 100.0%。

由(2)式的第 1 对典型变量可见,年降水量 (X_1)、沙源的距离 (X_{10})、背风坡植被盖度 (X_{13}) 和年平均风速 (X_4) 等对积沙带的宽度和高度具有较大的正向作用;由第 2 对典型变量可见,沙源的距离 (X_{10}) 对积沙带的高度有较大的正向作用,30—50 cm 土壤含水率 (X_9) 和空气湿度 (X_3) 对积沙带的宽度也有较大的正向作用。同时,30—50 cm 土壤含水率以及空气湿度、背风坡植被盖度对积沙带高度还有一定的负向作用,沙源的距离对积沙带的宽度有较大的负向作用。

3 讨论

积沙带的形成始于农田的外围防护林建设。甘肃河西地区在 20 世纪 50 年代开始营造农田防护林^[23],绿洲边缘的积沙带经历了 60—65a 的形成发育过程,其上的植被可能经历了多次更替过程,样点调查得到的植被盖度只反映当前积沙带上的植被状况。因而在表 3 中,迎风坡植被盖度与积沙带的高度和宽度并不相关,而在 2 对典型变量中,植被盖度的系数也并不很大。

积沙带的形成必须经历发育、成长、稳定和衰退 4 个阶段。河西绿洲边缘的积沙带随绿洲断续分布,大部分地段目前处于稳定阶段,只有个别新绿洲外围(人工固沙带上风向)的积沙带目前处在发育阶段或成长阶段。调查的 21 个样点中,15 个样点有结皮,其中有 1 个(5 号)样点有轻微的风蚀,个别地段尚处于堆积发育阶段,由此可以认为,河西绿洲边缘积沙带目前处于稳定状态。从目前河西绿洲边缘积沙带的现状可见,只要适当保护,积沙带经历 70—80a 尚不至于活化造成危害。

积沙带的生态作用既有正向作用,亦有负向作用。正向作用如阻止流沙进入农田、积沙带自身防风阻沙的作用等。负向作用如积沙带衰退、活化后,就会形成新的沙源。目前,河西绿洲边缘积沙带的负向作用尚未表现出来。河西绿洲边缘积沙带目前处于稳定状态,其生态效应主要体现在 2 个方面:一是自身的防护作用,积沙带越高,其自身防御风和阻挡流沙入侵农田的范围越高;二是阻截、减少流沙进入农田的作用,积沙带的堆积体的大小是各种气候环境因子共同作用的结果,其中也包括了积沙带自身作为一种障碍的阻挡作用。当然,积沙带的生态效应还不止于这些,其他方面的生态效应尚待以后进一步的观测研究。

影响积沙带的高度和宽度的相关因子有许多,这些因子并不是孤立地作用于积沙带。单相关只反映了单项因子与积沙带高度和宽度的关系,而典型相关反映了因子的线性组合作用。本文典型相关分析结果表明,积沙带的高度和宽度是降水量、到沙源的距离、背风坡植被盖度和年平均风速等气候环境因子共同作用的结果。不仅如此,30—50 cm 土壤含水率以及空气湿度、背风坡植被盖度对积沙带高度

还有一定的负向作用,沙源的距离对积沙带的宽度还有较大的负向作用。

典型相关分析较单相关分析能更全面的揭示积沙带与各气候环境因子之间的关系,然而选用因子过多会使得典型变量过于复杂。剔除变量最常用的方法是主因子分析,但主因子分析是按各因子观测数据的相似性,将代表性较强的因子作为主因子,而剔除了与前面主因子信息重复的因子。本文中,年降水量、空气相对湿度、最大风风向、大风日数、年沙尘暴日数等为第 1—5 主因子(表 5),但最大风风向、大风日数、年沙尘暴日数在典型因子中的系数绝对值较小,背风坡植被盖度(X_{13})的贡献率很小,但在典型因子中的系数绝对值却相对较大。由此可

见,贡献率小的单项因子在典型因子中的组合作用并不一定小,因而不能依据主因子分析结果剔除贡献率小的因子,而只能从上一步典型相关分析结果中剔除系数绝对值较小的因子,逐步剔除。

除金塔以外,河西其他各地绿洲边缘的地下水位埋深都越过 8 m,而当地下水位越过 7.5m 时植物无法利用^[24],荒漠植物主要依靠降水维持生存。由表 4 可见,年降水量影响空气相对湿度、土壤水分、灌丛的形成等,进而影响积沙带的形成和发育。因而,不论是单相关分析结果还是典型相关分析结果,都表明积沙带的高度和宽度与年降水量关系密切,主因子分析结果显示年降水量在气候环境因子中的贡献率最大。

表 5 主因子及其贡献率
Table 5 The main factors and their contribution rate

因子编号 Factor No.	气候环境因子 Climatic and environmental factors								
	X_1	X_3	X_7	X_5	X_6	X_2	X_{15}	X_8	X_9
贡献率 Contribution rate	32.74	18.16	17.72	10.00	8.33	4.54	3.39	1.86	1.31
累计贡献率 Cumulative contribution rate	32.74	50.89	68.61	78.62	86.95	91.50	94.89	96.75	98.06

因子编号 Factor No.	气候环境因子 Climatic and environmental factors							
	X_{16}	X_4	X_{10}	X_{17}	X_{14}	X_{13}	X_{11}	X_{12}
贡献率 Contribution rate	0.83	0.54	0.29	0.17	0.08	0.02	0.01	0.00
累计贡献率 Cumulative contribution rate	98.88	99.43	99.72	99.89	99.97	99.99	100.00	100

4 结论

河西绿洲边缘积沙带的分布趋势大致为东高西低、东宽西窄,积沙带随绿洲断续分布,大部分地段目前处于稳定阶段,只要不加破坏,积沙带经历 70—80a 尚不至于活化造成危害。

河西绿洲边缘积沙带的优势种植物以怪柳最多。不同优势种植物的积沙带高度及宽度差异不显著,但其迎风坡植被盖度及植被纯盖度均差异较显著。

积沙带的高度和宽度是降水量、到沙源的距离、背风坡植被盖度和年平均风速等气候环境因子共同作用的结果。积沙带高度还与 30—50 cm 土壤含水率以及空气湿度、背风坡植被盖度存在一定的负相关关系,积沙带的宽度与沙源的距离亦存在一定的负相关关系。

河西绿洲边缘积沙带的正向生态效应主要体现

为自身的防护作用和阻截、减少流沙进入农田的作用,积沙带越是高大,其正向的生态效应越大。河西地区降水稀少,大部分地区的绿洲边缘地下水植物无法利用,节约用水、保护沙层土壤水分是保护积沙带植被进而保护积沙带稳定性的关键措施。

References:

[1] Qi Y X, Zhao T N. The summation of combating and controlling desertification in China. Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences, 2006, 5(S1): 51-58.

[2] Wang W F, Wang T, Li Z X, Zhang W M. The effects of blown sand on the shrub belt over the top of the Mogao Grottoes. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11): 2492-2500.

[3] Cheng H, Li X, Hou P, Pei Y L. Field investigation on function of reducing wind and stabilizing sand under different vegetation cover in lower reaches of Tarim River. Journal of Desert Research, 2007, 27(6): 1022-10226.

[4] Cao C Y, Jiang D M, Luo Y M. Kou Z W. Stability of Caragana microphylla plantation for wind protection and sand fixation. Acta Ecologica Sinica, 2004, 1178-1186.

- [5] Werner B T. A steady-state model of wind-blown sand transport. *Journal of Geology*, 1990, 98(1): 1-17.
- [6] Anderson R S, Haff P K. Wind modification and bed response during saltation of sand in air. *Acta Mechanica*, 1991, 1 (Suppl1): 21-51.
- [7] Butterfield G R. Near-bed mass flux profiles in aeolian sand transport: High-resolution measurements in a wind tunnel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1999, 24(5): 393-412.
- [8] Ni J R, Li Z S, Mendoza C. Vertical profiles of aeolian sand mass flux. *Geomorphology*, 2003, 49(3/4): 205-218.
- [9] Feng D J, Ni J R, Li Z S. Vertical mass flux profiles of different grain size groups in aeolian sand transport. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1194-1203.
- [10] Parsons A J, Wainwright J, Schlesinger W H, Abrahams A D. The role of overland flow in sediment and nitrogen budgets of mesquite dunefields, southern New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 2003, 53(1): 61-71.
- [11] Wang X, Wang T, Dong Z, Liu X, Qian G. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65 (1): 129-141.
- [12] Tengberg A, Chen D L. A comparative analysis of Nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, 1998, 22(2): 181-192.
- [13] Hesp P, McLachlan A. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nabkha dunes. *Journal of Arid Environments*, 2000, 44(2): 155-172.
- [14] Langford R P. Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 2000, 46(1): 25-41.
- [15] Dougill A J, Thomas A D. Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: Formation controls and their validity as indicators of soil degradation. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(3): 413-428.
- [16] Zhang P, Hasi E, Yue X L, Zhuang Y M. Nitaria Nebkhas: Morphology and sediments. *Arid Land Geography*, 2008, 31(6): 926-932.
- [17] Xia X C, Zhao Y C, Wang F B, Cao Q Y, Mu G J, Zhao J F. The lamellar character and potential chronology significance of tamarix ramosissima sand-hillock. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(13): 1337-1338.
- [18] Zhang X S. Ecological restoration and sustainable agricultural paradigm of Mountain-Oasis-Ecotone-Desert System in the North of the Tianshan Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(12): 1294-1299.
- [19] Wang H, Zhao W Z, Chang X X. Spatial variability of soil moisture and vegetation in desert-oasis ecotone in the middle reaches of Heihe River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (5): 1731-1739.
- [20] Zhang L J, Yue M, Zhang Y D, Gu F X, Pan X L, Zhao G F. Analysis on the niche of the main plant species of oasis—desert Ecotone in Fukang of Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (6): 969-972.
- [21] Liu B, Zhao W Z, Yang R. Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* Nebkhas at Desert-Oasis Ecotone. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1446-1455.
- [22] Chang Z F, An F B, Fan B L. Method of observation and research of desert ecology. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2010: 62-63.
- [23] Chang Z F. Preliminary discussion on the creative approach of the scientific research on the sand drift prevention and control in China—A case study in the Hexi Corridor, Gansu province. *Arid Zone Research*, 2003, 20(1): 76-80.
- [24] Huang Z C, Liu J Q, Lu Z M, Ding S H, Wang J H. Preliminary study on cause of death of *Haloxylon ammodendron* forest in Minqin Desert area. *Scientia Silvae Sinicae*, 1983, 19(1): 82-87.
- 参考文献:
- [1] 祁有祥, 赵廷宁. 我国防沙治沙综述. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2006, 5(S1): 51-58.
- [2] 汪万福, 王涛, 李最雄, 张伟民. 敦煌莫高窟崖顶灌木林带防风固沙效应. 生态学报, 2004, 24(11): 2492-2500.
- [3] 程皓, 李霞, 侯平, 裴玉亮. 塔里木河下游不同覆盖度灌木防风固沙功能野外观测研究. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1022-10226.
- [4] 曹成有, 蒋德明, 骆永明, 寇振武. 小叶锦鸡儿防风固沙林稳定性研究. 生态学报, 2004, 24(6): 1178-1186.
- [9] 冯大军, 倪晋仁, 李振山. 风沙流中不同粒径组沙粒的输沙量垂向分布实验研究. 地理学报, 2007, 62(11): 1194-1203.
- [16] 张萍, 哈斯, 岳兴玲, 庄燕美. 白刺灌丛沙堆形态与沉积特征. 干旱区地理, 2008, 31(6): 926-932.
- [17] 夏训诚, 赵元杰, 王富葆, 曹琼英, 穆桂金, 赵景峰. 红柳沙包的层状特征及其可能的年代学意义. 科学通报, 2004, 49 (13): 1337-1338.
- [18] 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带—荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. 植物学报, 2001, 43(12): 1294-1299.
- [19] 王惠, 赵文智, 常学向. 黑河中游荒漠绿洲过渡带土壤水分与植被空间变异. 生态学报, 2007, 27(5): 1731-1739.
- [20] 张林静, 岳明, 张远东, 顾峰雪, 潘晓玲, 赵桂仿. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带主要植物种的生态位分析. 生态学报, 2002, 22(6): 969-972.
- [21] 刘冰, 赵文智, 杨荣. 荒漠绿洲过渡带怪柳灌丛沙堆特征及其空间异质性. 生态学报, 2008, 28(4): 1446-1455.
- [22] 常兆丰, 安富博, 樊宝丽. 荒漠生态观测研究方法. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2010: 62-63.
- [23] 常兆丰. 我国防沙治沙科研的突破口初探——以河西走廊沙区为例. 干旱区研究, 2003, 20(1): 76-80.
- [24] 黄子琛, 刘家琮, 鲁作民, 丁胜性, 王继和. 民勤地区梭梭固沙林衰亡原因的初步研究. 林业科学, 1983, 19(1): 82-87.