

DOI: 10.5846/stxb201710291935

常兆丰, 朱淑娟, 段晓峰, 赵鹏, 张剑挥, 丁爱强. 民勤绿洲边缘积沙带植物群落健康序列分析. 生态学报, 2019, 39(1): - .

Chang Z F, Zhu S J, Duan X F, Zhao P, Zhang J H, Din A G. Health sequence analysis of a plant community in the sand-accumulation belt along the oasis fringe in Minqin, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

## 民勤绿洲边缘积沙带植物群落健康序列分析

常兆丰<sup>1,\*</sup>, 朱淑娟<sup>1</sup>, 段晓峰<sup>1</sup>, 赵鹏<sup>1</sup>, 张剑挥<sup>1</sup>, 丁爱强<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070

<sup>2</sup> 中国林业科学研究院, 北京 100091

**摘要:** 甘肃河西走廊经过 60 多年的防沙治沙, 在绿洲边缘形成了一条积沙带。其中, 民勤绿洲边缘积沙带相对最典型、最完整。积沙带上的植被不仅是积沙带的形成因素, 更是维持积沙带稳定的重要因素。从一定意义上说, 积沙带上植被的健康状况, 决定着积沙带的稳定性。为了分析积沙带上的植被状况, 在民勤绿洲边缘积沙带上等间距设定了 11 条样线, 通过 60 多个样方的植被调查, 对民勤绿洲边缘积沙带上植物群落进行了健康序列分析。结果表明: 民勤绿洲边缘积沙带上的植被普遍是不健康的, 但相对本文的健康序列看, 民勤绿洲边缘人工固沙林积沙带上的植被健康状况相对好于天然灌丛积沙带上的植被健康状况, 乔灌混交林积沙带上的植被健康状况最差。民勤绿洲下游积沙带上的优势种植物怪柳严重枯死, 健康状况最差, 积沙带潜在风蚀活化的危险。农田弃耕后, 沙区农田边缘防护林及其积沙带的保护是一个新的值得考虑的问题。

**关键词:** 绿洲边缘; 积沙带; 植物群落; 健康; 民勤

## Health sequence analysis of a plant community in the sand-accumulation belt along the oasis fringe in Minqin, China

CHANG Zhaofeng<sup>1,\*</sup>, ZHU Shujuan<sup>1</sup>, DUAN Xiaofeng<sup>1</sup>, ZHAO Peng<sup>1</sup>, ZHANG Jianhui<sup>1</sup>, DIN Aiqiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China

<sup>2</sup> Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

**Abstract:** With desert control effort in more than 60 years in Hexi Corridor of Gansu Province, sand-accumulation belts have taken into form along the oasis fringe. Among which, the sand-accumulation belt at the fringe of Minqin oasis is relatively typical and complete. The vegetation on the sand-accumulation belts is the important factor not only for the formation, but also for the stability maintaining of the belts. To some sense, the healthy vegetation on the belts is decisive to the stability of the belts. To analyze the healthy status of the vegetation on the sand-accumulation belt, we designed 11 equal-interval sample lines on the belt along the fringe of Minqin oasis. Vegetation on more than 60 plots was investigated and the healthy sequence of plant communities was analyzed. The result showed that the vegetation on the sand-accumulation belt at the fringe of Minqin Oasis was generally unhealthy. However, the vegetation on the belt with artificial sand-fixation was healthier than that on the belt with natural shrub nebkhas, and the vegetation on the belt with mixed arbor and shrub is the least healthy. The dominant species on the sand-accumulation belt downstream Minqin Oasis, *Tamarix laxa*, was dead or seriously unhealthy. This means that the sand-accumulation belt is under potential risk of wind erosion and activation. As farmland has been abandoned, efforts should be made to protect the farmland windbreak and the sand-accumulation belts.

**Key Words:** oasis edge; sand-accumulation belt; plant community; healthy; Minqin

基金项目: 国家自然科学基金 (41661064)

收稿日期: 2017-10-29; 网络出版日期: 2018-00-00

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

在我国西北沙区,几乎所有的防沙治沙措施都实施在绿洲边缘,尤其是绿洲边缘上风向。新中国成立以来,经过几十年的防沙治沙,在沙区绿洲边缘尤其上风向流沙大量堆积<sup>[1-6]</sup>,形成了一条流沙堆积带,即积沙带<sup>[7-8]</sup>。

甘肃河西走廊经过 60 多年的防沙治沙,在绿洲上风向边缘形成了长达 1000 km 的积沙带。作为绿洲边缘防沙治沙的副产物,积沙带究竟具有怎样的生态效应? 截止目前,国内外尚没有关于绿洲边缘积沙带提法及其研究。鉴于此,笔者等先后开展了甘肃河西绿洲边缘积沙带的形成所表征的环境信息、甘肃河西绿洲边缘积沙带形成与环境因子的关系以及积沙带的生态效应等研究<sup>[7-9]</sup>。

研究结果表明,积沙带既有正向生态作用,亦有负向生态作用<sup>[7,9]</sup>。其正向生态作用是:作为一种防风阻沙的障碍物,具有明显的防风作用和阻沙固沙作用<sup>[9]</sup>,亦即“以沙治沙”的功能<sup>[10]</sup>。其负向生态作用是:由于大量流沙堆积在绿洲边缘,形成了距离绿洲农田更近的新的沙源<sup>[9]</sup>。甘肃河西走廊绿洲边缘积沙带在保护绿洲农田方面已经和正在发挥着正向作用<sup>[9]</sup>,而且,积沙带越高大越稳定,其防护作用越强<sup>[11]</sup>。

积沙带是绿洲边缘造林固沙和沙障固沙过程中的副产物。河西走廊绿洲边缘积沙带目前虽然未出现明显的风蚀、活化现象<sup>[9]</sup>,然而维持其积沙带发育和稳定的植被状况各不相同。以民勤绿洲边缘积沙带为例:1)有的地段以人工植被为主,有的地段以天然植被(当地称柴湾)为主;2)优势种植物不同,有的地段以人工梭梭 *Haloxylon ammodendron* 林为主,有的地段以天然灌木怪柳 *Tamarix laxa* 及天然白刺 *Nitraria tangutorum* 为主;3)植被的退化程度亦不相同,其中怪柳退化最为严重,人工梭梭林亦普遍枯梢,有的地段最初形成积沙带的乔灌木混交林带中的杨树早已枯死。民勤绿洲上风向边缘积沙带长达 110 km,气候环境条件也有较大差异。植被不仅是积沙带的形成因素,更是维持积沙带稳定的重要因素,从一定意义上说,积沙带上的植被健康状况,反映了积沙带的稳定性。前期的研究表明,积沙带的高度与植被盖度存在相关关系<sup>[8]</sup>。那么,能不能且怎样通过分析植被的健康状况来揭示或预测积沙带的稳定性或潜在的危险呢? 这就是本文试图回答的问题。

目前,有关生态系统健康评价都是针对生态系统的<sup>[12-22]</sup>,国内外尚无以积沙带为背景的植被健康状况的研究,更没有关于植被健康状况与积沙带稳定性的关系研究。那么,怎么借用生态系统健康评价方法对积沙带上的荒漠植被群落的健康状况进行评价呢? 在河西走廊绿洲边缘积沙带中,民勤绿洲边缘积沙带最完整、最典型,民勤的荒漠化过程亦最为严重,因此,本文以民勤绿洲边缘积沙带为研究对象,运用健康分析中的指标体系法<sup>[15,23]</sup>就其植被健康状况做一探索性分析,以资讨论。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

民勤县位于河西走廊东北部,地处石羊河下游即腾格里沙漠西部边缘,北和西北侧与巴丹吉林沙漠接壤,地理位置在 101°49'E—103°12'E、38°05'N—39°28'N 之间,总土地面积为 16016 km<sup>2</sup>,境内海拔多在 1300—1350 m 之间。民勤县的生态环境退化大致可分为 3 个历史景观,即汉代以前为自然生态景观,西汉(前 206—公元 25)至民国年间为退化生态景观,1950 年以来为人工生态景观。民勤县多年平均降水量 116.52 mm,蒸发量 2351.79 mm,年平均风速 2.8 m/s,主风向 NW,年平均≥17 m/s,大风 28.2 d,沙尘暴 25.8 d,扬沙天气 37.8 d,浮尘天气 30.2 d。民勤县统计部门提供的资料,目前境内沙漠、戈壁、盐碱滩地和低山残丘占总土地面积的 94.2%,其中沙漠面积占总面积的 55.03%。

### 1.2 观测调查方法

本文在陆凡、李文龙等<sup>[24-25]</sup>的健康评价指标体系基础上,结合当地积沙带上植被状况,确定了民勤绿洲边缘上风向积沙带植被健康评价指标体系(表 1)。在民勤绿洲上风向边缘大体每 10 km 设置一条观测样线,共选择了 11 条观测样线(图 1)。在每个样线上沿垂直农田边缘方向从农田边缘到沙漠平缓处设置样点,每条样线上设置了 5—9 个植被调查样方。表 1 中,盖度为投影盖度。投影盖度是在测量植株冠幅计算冠幅盖

度后在冠幅内用目测法测得。结实状况分:0—停止,1—较少,2—正常;枯梢情况分:0—枯梢很少,1—枯梢较多,2—严重枯梢。

表 1 民勤绿洲边缘上风向积沙带植物群落健康评价指标体系

| Table 1 Index system of health evaluation of plant community in sand accumulation-belt on oasis edge of Minqin |    |                              |    |                          |                    |                         |      |                    |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|----|--------------------------|--------------------|-------------------------|------|--------------------|------|------|
| 优势种 Dominant species                                                                                           |    |                              |    |                          |                    | 伴生植物 Associated plants  |      |                    |      |      |
| 状态指标<br>Condition index                                                                                        |    | 病态指标<br>Disease excess index |    | 更新力指标<br>Renewal ability | 多样性指标<br>Diversity | 状态指标<br>Condition index |      | 多样性指标<br>Diversity |      |      |
| 高度                                                                                                             | 盖度 | 结实情况                         | 枯梢 | 新枝长度                     | 植物总种数              | 灌木高度                    | 灌木盖度 | 草本高度               | 草本盖度 | 伴生植物 |

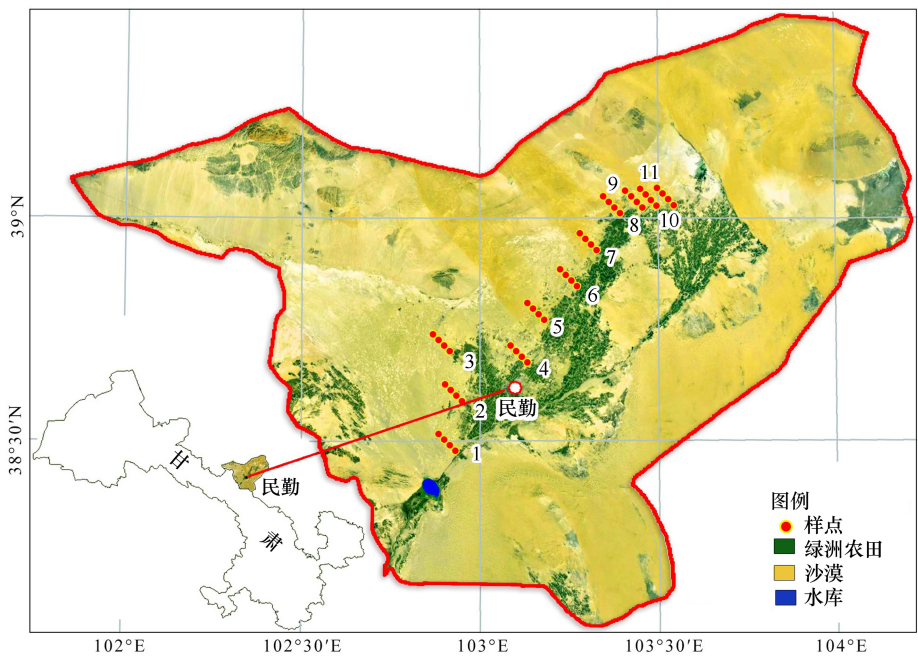


图 1 民勤绿洲边缘积沙带观测样点

Fig.1 Observation points on sand-accumulation belt along the Minqin oasis

1.3 数据处理方法

由于是 11 条样线,因而确定健康序列为: $Y_1>Y_2>Y_3>Y_4>Y_5>Y_6>Y_7>Y_8>Y_9>Y_{10}>Y_{11}$ 。分别每个指标 11 等分,即各指标等分为 11 个判别区间,然后分别优势种和伴生植物(表 1),先用以下(1)式计算隶属度,用(2)式计算加权隶属度,之后再用(3)式进行归一化处理,按其最大值进行一级判别。

$$R_{ij}(x)=\begin{cases} k\frac{a_{ij}}{x},(x>a) \\ k,(b<x\leq a) \\ k\frac{x}{b_{ij}},(x\leq b) \end{cases}$$

(1)

式中, $R_{ij}$ 为  $x$  的健康隶属度,其中  $i$  为健康序列( $i=1,2,\cdots m$ ), $j$  为植物健康指标( $j=1,2,\cdots n$ ); $a_{ij}$ 和  $b_{ij}$ 分别为第  $i$  健康序列第  $j$  指标的判别区间上限和判别区间下限, $k$  为系数,设  $k=0.5^{[26]}$ 。

$$R'_{li}=R_{ij}\times A_j$$

(2)

式中, $R'_{li}$ 为第  $l$  样本第  $i$  健康序列的加权隶属度, $A_j$ 为第  $j$  指标的权重集。

$$B_{li}=\frac{R'_{li}-\text{Min}R'_l}{\text{Max}R'_l-\text{Min}R'_l}$$

(3)

式中, $B'_{li}$ 为第  $l$  样本第  $i$  健康序列的隶属度归一化值。

在获得一级判别结果的基础上,用以下(4)式进行二级模糊综合判别,确定健康序列。

$$B'_l = (B_{l(d),1} \wedge a_1 \vee B_{l(d),1} \wedge a_2 \vee B_{l(d),2} \wedge a_1 \vee B_{l(a),2} \wedge a_2 \cdots \vee B_{l(d),m} \wedge a_1 \vee B_{l(a),m} \wedge a_2) \quad (4)$$

式中, $B'_l$ 为第  $l$  样本优势种的隶属度, $B_{l(d)}$ 和  $B_{l(a)}$ 分别为第  $l$  样本优势种或伴生种的隶属度归一化值, $a_1$ 、 $a_2$ 分别为优势种和伴生种的权重。

2 判别分析

2.1 一级判别

从西南向东北 11 条样线,样线间距约 10 km(图 1)。11 条样线分布有:梭梭 *Haloxylon ammodendron*、梭梭 *H. ammodendron* + 白刺 *Nitraria tangutorum*、怪柳 *Tamarix laxa*、梭梭 *H. ammodendron* + 红砂 *Reaumuria songarica*、怪柳 *T. laxa*+白刺 *N. tangutorum*、怪柳 *T. laxa*+梭梭 *H. ammodendron* 6 种植物群落,伴生植物主要有、沙蒿 *Artemisia arenaria*、沙米 *Agriophyllum squarrosum*、五星蒿 *Bassia dasphylla*、碱蓬 *Suaeda glauca*、沙拐枣 *Calligonum mongolicum*、沙地旋复花、*Inula salsoloides* 和花棒 *Hedysarum scoparium* 等(表 2),植被总投影盖度 6%左右,其中优势种植物的投影盖度在 3%左右(图 2),植物总种数在 4—6 种之间(图 3)。

表 2 民勤绿洲边缘积沙带植物群落特征  
Table 2 Characteristic of plant community in sand accumulation-belt on oasis edge of Minqin

| 样线号<br>Sample line No. | 群落名/优势种<br>Dominant species | 伴生植物<br>Associated plants | 样方数<br>Sample number |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1                      | 梭梭                          | 白刺, 沙蒿, 沙米, 五星蒿           | 5                    |
| 2                      | 梭梭+白刺                       | 花棒, 沙米, 旋复花, 碱蓬           | 8                    |
| 3                      | 怪柳                          | 五星蒿, 沙米, 碱蓬               | 5                    |
| 4                      | 梭梭+红砂                       | 红砂, 怪柳, 沙拐枣, 沙米           | 6                    |
| 5                      | 梭梭                          | 白刺, 沙米, 沙米, 碱蓬            | 3                    |
| 6                      | 梭梭+白刺                       | 怪柳, 红砂, 五星蒿, 碱蓬           | 5                    |
| 7                      | 怪柳+白刺                       | 梭梭, 红砂, 沙米                | 5                    |
| 8                      | 怪柳                          | 红砂, 五星蒿, 沙米               | 5                    |
| 9                      | 怪柳+梭梭                       | 梭梭, 白刺, 五星蒿               | 5                    |
| 10                     | 怪柳+白刺                       | 碱蓬, 五星蒿, 沙米               | 9                    |
| 11                     | 怪柳                          | 梭梭, 白刺, 红砂, 五星蒿           | 5                    |

分别表 1 中优势种和伴生植物用以上(1)式计算隶属度后,再分别给优势种的高度、盖度、结实情况、枯梢、新枝长度和植物总种数以 0.1、0.3、0.2、0.2、0.1、0.1 的权重和伴生植物的灌木高度、灌木盖度、草本高度、草本盖度和伴生植物种数以 0.1、0.3、0.1、0.3、0.2 的权重,用以上(2)式计算加权隶属度,用(3)式分别优势种及伴生植物进行归一化处理,得优势种和伴生植物的健康序列(表 3)。由表 3 可以看出,1、2、4、5 号样本优势种植物的健康状况位居较前,9、10、11 号样本优势种植物的健康状况最差;伴生植物前后两端的样本健康状况相比较差。

2.2 二级判别

分别给优势种和伴生植物以 0.7 和 0.3 的权重,用以上(4)式进行二级模糊综合判别,得到以上 11 条样

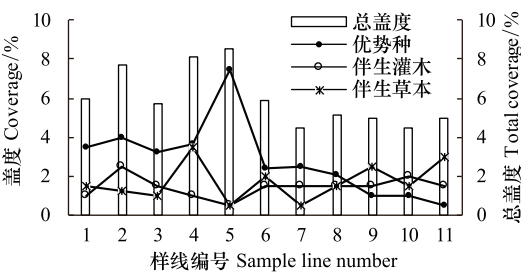


图 2 植被投影盖度  
Fig.2 Projection coverage of vegetation

线植被健康序列为:5号>4号>1号>2号、3号、7号>6号>8号>9号、10号>11号(表3)。

民勤绿洲边缘上风向边缘积沙带按主要成因自西南至东北可分为人工固沙林积沙带、天然灌丛积沙带和单行乔灌混交林积沙带3种,1—5号样线在人工固沙林积沙带上,6—8号样线在天然灌丛积沙带上,9—11号样线在单行乔灌混交林积沙带上,由此可见,人工固沙林积沙带上的植被健康状况相对较好,而乔灌混交林积沙带上的植被健康状况最差(表3)。

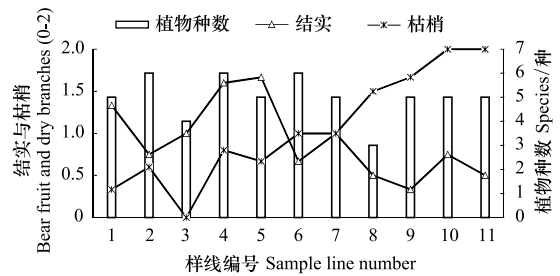


图3 物种总数及结实、枯梢情况  
Fig.3 Species, bear fruit and dry branches

表3 民勤绿洲边缘积沙带植物群落健康序列

| Table 3 Health sequence of plant community in sand accumulation-belt on oasis edge of Minqin |                         |                                                |                                                     |                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| 样线号<br>Sample line No                                                                        | 优势种<br>Dominant species | 一级判别 First discrimination                      |                                                     | 二级判别序列<br>Second discrimination |
|                                                                                              |                         | 优势种健康序列<br>Health sequence of dominant species | 伴生植物种健康序列<br>Healthy sequences of associated plants |                                 |
| 1                                                                                            | 梭梭                      | 4                                              | 8                                                   | 3                               |
| 2                                                                                            | 梭梭+白刺                   | 4                                              | 4                                                   | 4                               |
| 3                                                                                            | 怪柳                      | 7                                              | 4                                                   | 4                               |
| 4                                                                                            | 梭梭+红砂                   | 4                                              | 4                                                   | 2                               |
| 5                                                                                            | 梭梭                      | 4                                              | 11                                                  | 1                               |
| 6                                                                                            | 梭梭+白刺                   | 8                                              | 4                                                   | 6                               |
| 7                                                                                            | 怪柳+白刺                   | 6                                              | 11                                                  | 4                               |
| 8                                                                                            | 怪柳                      | 9                                              | 8                                                   | 8                               |
| 9                                                                                            | 怪柳+梭梭                   | 11                                             | 4                                                   | 9                               |
| 10                                                                                           | 怪柳+白刺                   | 10                                             | 4                                                   | 9                               |
| 11                                                                                           | 怪柳                      | 11                                             | 4                                                   | 11                              |

3 灵敏度分析

本文在做二级模糊综合判别时,分别给优势种和伴生植物以0.7和0.3的权重。那么,当优势种和伴生植物的权重发生变化时,会不会影响健康序列呢?为此,本文进一步做了灵敏度分析。结果表明:1)当优势种的权重由0.9向0.5减小时,只影响健康序列的分类,而并不影响11条样线的健康排序(表4);2)优势种和伴生植物权重分别取0.7和0.3时,分类数最大(8类),由此优势种的权重向上或向下,判别结果为分类数减小,此时各样线的分异最明显;3)第4类的样本最集中,第5类无样本分布,第6类只有一个样本;4)优势种的权重从0.7向上增大时,样线的归类推后;而当优势种的权重从0.7向下减小时,样本的归类提前,表明其优势种的优势度相对较弱。

4 讨论

1)民勤绿洲边缘积沙带上的植被普遍是不健康的,积沙带上的优势种植物怪柳、梭梭、白刺普遍枯梢,有的年份停止开花、结实,尤其是怪柳。8号、9号、10号和11号样线优势种主要是怪柳,由(图3)可以看出其枯梢十分严重,甚至停止展叶。由一级判别结果(表3)可以看出,其健康状况最差。9、10、11号样线处于乔灌混交林积沙带上,其中乔木林带积沙带是在杨树林带的株距间为种植的怪柳灌木,目前杨树已枯死故而优势种以怪柳灌木代之,但由于沙漠边缘农田弃耕,农田边缘积沙带上的怪柳枯死现象十分严重(图4)。

2)到目前为止,国内外尚积沙带的研究,作者等首次提出了积沙带的概念并开展了相关的研究<sup>[7-9,11]</sup>,因

此尚无有关积沙带的研究以及以积沙带为背景的植被健康状况的研究报道,更没有植被健康状况与积沙带稳定性的关系研究。目前,民勤绿洲边缘积沙带上的植被普遍不健康,尤其是农田弃耕后,沙区农田边缘防护林及其积沙带的保护是一个新的值得考虑的问题。面对这些问题,其对策建议:一是保护绿洲边缘积沙带上的植被,严禁人畜破坏;二是在条件许可时可进行人工补灌,从农田灌溉用水中挤出部分生态用水,并适度补设一些沙障;三是对农田弃耕后,农田边缘积沙带的稳定性进行监测、预警和预防研究。

表 4 民勤绿洲边缘积沙带植物群落健康序列灵敏度分析

| Table 4    Sensitivity analysis of health sequence of plant community in sand accumulation-belt on oasis edge of Minqin |       |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                      |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 权重 Weight                                                                                                               |       | 样线号 Sample line No |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                      |                      |
| $a_1$                                                                                                                   | $a_2$ | 第 1 类<br>1 th type | 第 2 类<br>2 th type | 第 3 类<br>3 th type | 第 4 类<br>4 th type | 第 5 类<br>5 th type | 第 6 类<br>6 th type | 第 7 类<br>7 th type | 第 8 类<br>8 th type | 第 9 类<br>9 th type | 第 10 类<br>10 th type | 第 11 类<br>11 th type |
| 0.9                                                                                                                     | 0.1   |                    |                    | 5                  | 4, 1, 2, 3, 7      |                    |                    |                    | 6                  | 8                  | 9, 10                | 11                   |
| 0.8                                                                                                                     | 0.2   | 5                  |                    | 4                  | 1, 2, 3, 7         |                    |                    | 6                  | 8                  | 9, 10              |                      | 11                   |
| 0.7                                                                                                                     | 0.3   | 5                  | 4                  | 1                  | 2, 3, 7            |                    | 6                  |                    | 8                  | 9, 10              |                      | 11                   |
| 0.6                                                                                                                     | 0.4   | 5, 4               | 1                  | 2                  | 3, 7, 6            |                    |                    | 8                  | 9, 10              |                    |                      | 11                   |
| 0.5                                                                                                                     | 0.5   | 5, 4, 3            | 1                  | 2                  | 7, 6               |                    |                    | 8, 9, 10           |                    |                    | 11                   |                      |

3)划分较多的区间则有利于样本之间的细分。从分析结果(表 4)可见,以 0.7 进行二级判别比较合理,此时各样线之间的分异性最大,样本之间的差异体现得更充分。我们虽然无法确定哪些群落是健康的,哪些群落是不健康的,但我们总可以对其健康状况做出一个排序,这就是本文的主要结果,这样的结果也显得更加科学合理。由(表 3)可见,不论是优势种还是伴生植物,其第 5 区间(序列)无样本分布,而第 4 区间分布的样本最多。在优势种权重 0.5—0.9 范围内,二级模糊综合判别结果亦均为第 5 区间(序列)无样本分布,第 4 区间分布的样本最多(表 4)。相对于本文的健康序列,积沙带上的植物群落居本序列中等偏上的较多,中等偏下的次多,而居两端的最少。

4)在健康序列分析中,确定一个合理的指标体系显得十分重要。指标过少,既不能反映出样本真实的健康状况,也不能充分体现样本之间的分异;反之,如果指标过多,分析过程可能会出现病态。首先确定一个合理的指标清单<sup>[23]</sup>,才能最后转化得到一个明晰的样本的健康序列。在确定健康指标时,本文首先考虑到盖度在荒漠生态系统中的重要地位<sup>[27]</sup>,给植被投影盖度以最高的权重。另外,荒漠植物枝条稀疏程度差异很大,如沙蒿,其投影盖度往往不到冠幅盖度的 1/3,再如麻黄 *Ephedra przewalskii*,投影盖度上可达冠幅盖度的 80% 以上。用冠幅计算的盖度不难准确反映植物实际覆盖地面的情况,因此本文采用了植被的投影盖度即纯盖度<sup>[28]</sup>。在做样本的统计分析时,如果只给出某种统计结果,而不对这种统计的可信程度做任何说明,则这样的统计是没有多大意义的。本文在做优势种和伴生植物的模糊判别排序时,给了优势种 0.7 的权重。灵敏度分析结果(表 4)表明,优势种的权重在 0.5—0.9 范围内,只改变健康序列的归类,而不改变样本的健康序列。

5)前面提到,由于农田弃耕,失去了农田边缘水分补给,9、10、11 号样线所处的积沙带上的优势植物怪柳枯死严重,沙丘迎风坡梭梭也严重枯梢。但由于农田弃耕时间不长,枯死植株及其枝条目前尚存,沙带尚未出现明显活化,而植被死亡后积沙带的活化则是必然的。农田弃耕后,沙区农田边缘防护林及其积沙带的保护是一个新的值得考虑的问题。另外,5 号样线在梭梭林内,由于梭梭林营造时间(2013 年)不长,密度较大,盖度相对较高(图 2),但从民勤沙区人工梭梭林的情况看,当梭梭林龄在 5 年之后就会大量自然稀疏,实际能保存的密度为 600 株/hm<sup>2</sup>左右,投影盖度不会超过 6%。



图 4 西渠乡西臣村西北农田边缘积沙带

Fig.4 Sand-accumulation belt at the edge of northwest farmland in Xichen village of Xiqu township

6)民勤县位于石羊河下游,绿洲边缘积沙带长约 100 km。越靠近下游水资源条件越差,下游已有约 1330 hm<sup>2</sup>耕地因缺水弃耕。积沙带上植被健康状况与水资源条件是相一致的,即靠近下游的积沙带上植被盖度越低,植物枯梢越严重(图 2、图 3)。相对靠近上游的积沙带植被盖度较高,积沙带亦相对较高大,稳定性较好<sup>[7,9]</sup>。

## 5 结论

积沙带形成于绿洲边缘的人工植被和天然植被,植被的健康状况决定着积沙带的稳定性。相对本文的健康序列,民勤绿洲边缘人工固沙林积沙带上的植被健康状况相对好于天然灌丛积沙带上的植被健康状况,而乔灌混交林积沙带上的植被健康状况最差。民勤绿洲下游积沙带上的优势种植物怪柳严重枯死,健康状况最差,积沙带潜在风蚀活化的危险。但目前尚未出现积沙带风蚀活化现象。农田弃耕后,沙区农田边缘防护林及其积沙带的保护是一个新的值得考虑的问题。

## 参考文献 (References):

- [1] 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.
- [2] 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):1022-1026.
- [3] 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.
- [4] Ni J R, Li Z S, Mendoza C. Vertical profiles of aeolian sand mass flux. Geomorphology, 2003, 49(3/4):205-218.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 常兆丰,张剑挥,唐进年,王强强,张大彪,朱淑娟,张国中.河西绿洲边缘积沙带与环境因子的关系.生态学杂志,2012,31(6):1548-1555.
- [8] 刘世增,常兆丰,张剑挥,唐进年,王强强,张大彪,朱淑娟,张国中,樊宝丽.甘肃河西绿洲边缘积沙带所表征的气候环境信息.干旱区研究,2013,30(2):364-371.
- [9] 常兆丰,王强强,张剑挥,朱淑娟,樊宝丽,唐进年,张大彪,刘世增,李爱德,张国中.河西绿洲边缘积沙带的生态意义.生态学报,2015,35(24):8046-8052.
- [10] 崔学明,闫洁,陈友君,李绍良,韩鹏.沙丘小气候对沙地环境作用的综述.内蒙古农业大学学报,2008,29(4):257-263.
- [11] 常兆丰,张剑挥,王强强,朱淑娟,张大彪,樊宝丽,唐进年,刘世增.河西绿洲边缘积沙带的稳定性及其生态效应.生态学杂志,2014,33(2):433-439.
- [12] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(10):397-402.
- [13] 傅伯杰,刘世梁,马克明.生态系统综合评价的内容与方法.生态学报,2001,21(11):1885-1892.
- [14] 李瑾,安树青,程小莉,王云静,卓元午,覃凤飞.生态系统健康评价的研究进展.植物生态学报,2001,25(6):641-647.
- [15] 马克明,孔红梅,关文彬,傅伯杰.生态系统健康评价:方法与方向.生态学报,2001,21(12):2106-2116.
- [16] 孔红梅,赵景柱,姬兰柱,陆兆华,邓红兵,马克明,张萍.生态系统健康评价方法初探.应用生态学报,2002,13(4):486-490.
- [17] 刘建军,王文杰,李春来.生态系统健康研究进展.环境科学研究,2002,15(1):41-44.
- [18] 肖风劲,欧阳华.生态系统健康及其评价指标和方法.自然资源学报,2002,17(2):203-209.
- [19] 解雪峰,蒋国俊,肖翠,吴涛,边华菁,马勇,陈建华.基于模糊物元模型的西苕河流域生态系统健康评价.环境科学学报,2015,35(4):1250-1258.
- [20] 陆志强,李吉鹏,章耕耘,马丽.基于可变模糊评价模型的东山湾生态系统健康评价.生态学报,2015,35(14):4907-4919.
- [21] 殷旭旺,渠晓东,李庆南,刘颖,张远,孟伟.基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价.生态学报,2012,32(6):1677-1691.
- [22] 李纯厚,林琳,徐楠楠,戴明,黄洪辉,杜飞雁,刘永,齐占会.海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用.生态学报,2013,33(6):1798-1810.
- [23] 孙燕,周杨明,张秋文,易善楨.生态系统健康:理论/概念与评价方法.地球科学进展,2011,26(8):887-896.
- [24] 陆凡,李自珍.干旱区生态系统健康评价的指标、模型及应用.西北植物学报,2004,24(3):538-541.
- [25] 李文龙,王刚,李自珍.人工固沙林生态系统健康的模糊综合评价及实例分析.西北植物学报,2004,24(3):443-448.
- [26] 常兆丰,韩福贵,仲生年,李发明,何芳兰,张应昌,柴成武.生态系统健康评价方法在退化梭梭群落分析中的应用.生态学杂志,2008,27(8):1444-1449.
- [27] 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.
- [28] 常兆丰,韩福贵,仲生年.民勤荒漠植被对气候变化的响应.应用生态学报,2012,23(5):1210-1218.