

# 西宁市油松人工林生长主导因子分析

张磊<sup>1</sup>, 司剑华<sup>2</sup>, 吴雨亭<sup>2</sup>, 谷鑫鑫<sup>2\*</sup> (1. 格尔木市林业局, 青海格尔木 816000; 2. 青海大学农牧学院, 青海西宁 810016)

**摘要** 为了明确西宁市油松人工林生长的主要影响因子, 以西宁市南北山油松人工林为研究对象, 选取坡度、坡向坡位(温度、湿度)、海拔、土壤容重、土壤有机质 5 个因子作为研究油松人工林生长的影响因子, 利用灰色关联度法分析各因子对油松生长的影响, 得出对油松人工林影响作用最大的因子。结果表明, 对树高影响作用的大小排序为坡向坡位、土壤容重、海拔、土壤有机质、坡度; 对胸径影响作用的大小排序为坡向坡位、土壤容重、土壤有机质、海拔、坡度, 故影响西宁市油松人工林生长的主导因子为坡向坡位。

**关键词** 油松; 人工林; 主导因子; 灰色关联度; 西宁市

中图分类号 S 791.254 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)08-0124-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.029



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Analysis on the Leading Factor of Growth of *Pinus tabulaeformis* Carrière Plantation in Xining City

ZHANG Lei<sup>1</sup>, SI Jian-hua<sup>2</sup>, WU Yu-ting<sup>2</sup> et al (1. Golmud Forestry Bureau, Golmud, Qinghai 816000; 2. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016)

**Abstract** In order to define the growth of *Pinus tabulaeformis* plantation in Xining City, five factors were selected to study the growth of *P. tabulaeformis* plantation, including slope gradient, slope aspect (temperature, humidity), altitude, soil bulk density and soil organic matter, by using the method of grey correlation degree, the influence of each factor on the growth of *P. tabulaeformis* was analyzed, and the factor that had the greatest influence on the growth of *P. tabulaeformis* plantation was obtained. The results showed that the order of influence on tree height was as follows: aspect and position of slope > soil bulk density > altitude > soil organic matter > slope gradient; The order of influence on DBH was as follows: aspect and position of slope > soil bulk density > soil organic matter > altitude > slope gradient, so the dominant factor affecting the growth of *P. tabulata* plantation in Xining was aspect and position of slope.

**Key words** *Pinus tabulaeformis* Carrière; Artificial forest; Leading factor; Grey correlation degree; Xining City

油松 (*Pinus tabulaeformis* Carrière) 为松科 (Pinaceae Spreng. ex F. Rudolphi) 针叶常绿乔木, 阳性树种, 深根性, 喜光、抗瘠薄、抗风, 为我国特有树种<sup>[1]</sup>。油松是青海省的主要造林树种之一, 也是该地区水土保持林、水源涵养林、用材林的优良树种<sup>[2]</sup>, 十分适合作为人工造林树种<sup>[3]</sup>。影响油松生长的因子有很多, 但在青海西宁地区, 环境较为恶劣, 温度、土壤、海拔、坡位等对油松生长的影响较大, 油松生长情况较差且少见纯林。研究这些因子对油松生长的影响可为植被建设提供理论基础<sup>[4]</sup>。

国外对油松有较多的研究, 探究单个因子对油松生长的影响居多; 对主导因子分析虽然不在少数, 但主要应用在理工科类。在我国, 油松生长与环境因子的研究早在 20 世纪 80 年代就已经展开, 结果不尽相同。沈国舫等<sup>[5]</sup>首先在北京地区开展影响北京西山地区油松人工林生长立地因子的研究, 认为海拔、坡向和土壤肥力是影响该地油松生长情况的主要立地因子; 张康健等<sup>[6]</sup>对渭北黄土高原油松进行研究, 认为影响油松生长的主要因素是地形部位、土壤、海拔和坡向, 坡度影响不明显。

21 世纪以来, 我国对于油松与立地条件的研究更加丰富。王青山等<sup>[7]</sup>、刘明国等<sup>[8]</sup>对油松生长进行探讨并认为土层厚度、坡向和降雨量等是影响油松撒播造林成效的主要因子。汤雨宁<sup>[9]</sup>开展了朝阳地区油松天然林更新与立地因子关系的研究, 认为影响油松天然更新幼树株数和生长情况的立地因子主要为坡向和坡位。

而针对西宁地区而言, 对油松的研究并不多, 其中包括研究施肥对油松生长的促进作用<sup>[10]</sup>, 研究油松病害的原因以及改善方法<sup>[11]</sup>, 探讨油松育苗技术<sup>[12]</sup>, 研究油松造林方法<sup>[13]</sup>。但是, 对西宁市油松人工林生长主导因子的相关研究鲜有报道。

目前青海油松长势较差, 参差不齐。笔者以西宁市油松人工林为对象, 研究调查了西宁当地 2 年气象资料并对西宁周边各林场中的油松生长因子进行实地调查, 利用灰色关联度法对所得到的因子进行数据分析, 确定影响油松生长的主导因子, 为西宁市林业技术人员开展油松人工林抚育管理工作提供理论依据, 并对西宁市及青海省东部地区油松人工林的栽培和管护提供有力支持。

## 1 材料与方法

**1.1 试验区概况** 试验区位于青海省西宁市, 西宁市位于青海省东北部, 地处湟水及三条支流的交汇处, 地理坐标为 101°41'~101°46'E, 36°36'~36°38'N, 呈东西向条带状, 地势西南高、东北低。四周群山环抱, 南有南山、北有北山。西宁属大陆性高原半干旱气候, 年平均日照为 1 939.7 h, 年平均气温 7.6 °C, 最高气温 34.6 °C, 最低气温 -18.9 °C, 属高原高山寒温性气候。西宁市区海拔 2 261 m, 年平均降水量 380 mm, 蒸发量 1 363.6 mm, 湟水及其支流南川河、北川河由西、南、北汇合于市区, 向东流经全市。

**1.2 仪器** 勃鲁莱测高器、轮尺、测绳、皮尺、罗盘仪、便携式 GPS、坡度仪、Kestrel 3000 型手持气象站、环刀。

**1.3 试验设计** 通过对西宁市南北山的实地调查, 根据油松生长状况并结合相关文献, 选择坡向坡位、坡度、海拔、土壤容重、土壤有机质等作为研究油松生长的影响因子; 并在海

基金项目 青海省科技厅项目(2016-HZ-811, 2019-HZ-809)。  
作者简介 张磊(1974—), 男, 青海格尔木人, 工程师, 从事林业研究。  
\* 通信作者, 硕士, 从事森林培育研究。  
收稿日期 2019-07-22

拔、坡向(半阴半阳坡、阳坡)、坡位(上坡、中坡、下坡)有相对差异的油松林分(20~30 a)中设置 20 m×20 m 的样方共 12 个,选用应用每木检尺测得的树高年生长量、胸径年生长量作为确定主导因子的指标,通过对样地气候因子(温度、湿度)进行测定,并将其赋值于坡位坡向中,使定性指标量化,最后利用灰色关联度法确定影响西宁市油松人工林生长的主导因子(由于未找到符合此次试验标准的阴坡油松人工林,故未选取阴坡样地)。

## 1.4 调查方法

**1.4.1 样地设置。**于 2017 年 4 月 15 日对西宁市林场(西山林场、南山林场、北山林场、湟水林场)的海拔进行测定,并依照坡位(上坡、中坡、下坡)和坡向(半阴半阳坡、阳坡)的不同,通过控制变量法选择出 12 块立地条件不同的油松林作为标准地,并在每片油松林中选择长势较为均匀的部分,利用测绳、罗盘仪和花杆打出规格为 20 m×20 m 的样方,样地分布见表 1。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic information of the sample land

| 样地号<br>Plot No. | 经纬度<br>Longitude and latitude | 海拔<br>Altitude m | 坡向<br>Slope aspect | 坡位<br>Slope position | 坡度<br>Slope gradient ° |
|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 1               | 36°37'24"N,<br>101°43'31"E    | 2 453            | 半阴半阳坡              | 上                    | 27                     |
| 2               | 36°37'10"N,<br>101°43'34"E    | 2 341            | 阳坡                 | 中                    | 9                      |
| 3               | 36°37'18"N,<br>101°43'09"E    | 2 295            | 阳坡                 | 下                    | 13                     |
| 4               | 36°36'01"N,<br>101°46'29"E    | 2 380            | 阳坡                 | 上                    | 16                     |
| 5               | 36°36'27"N,<br>101°46'38"E    | 2 346            | 半阴半阳坡              | 中                    | 29                     |
| 6               | 36°36'13"N,<br>101°46'19"E    | 2 267            | 阳坡                 | 下                    | 6                      |
| 7               | 36°38'33"N,<br>101°46'59"E    | 2 586            | 阳坡                 | 上                    | 7                      |
| 8               | 36°38'27"N,<br>101°47'2"E     | 2 464            | 阳坡                 | 中                    | 5                      |
| 9               | 36°38'35"N,<br>101°46'51"E    | 2 337            | 半阴半阳坡              | 下                    | 14                     |
| 10              | 36°38'17"N,<br>101°41'59"E    | 2 368            | 阳坡                 | 上                    | 10                     |
| 11              | 36°38'10"N,<br>101°41'38"E    | 2 343            | 半阴半阳坡              | 中                    | 25                     |
| 12              | 36°38'06"N,<br>101°41'36"E    | 2 287            | 阳坡                 | 下                    | 11                     |

其中 1、2、3 位于西山林场,4、5、6 位于南山林场,7、8、9 位于北山林场,10、11、12 位于湟水林场。

**1.4.2 生长指标调查。**于 2017 年 4 月 28 日、11 月 15 日对样方中的油松进行每木检尺。利用轮尺测量离地面 1.3 m 处胸径;利用勃鲁莱测高器和皮尺测量油松的树高。2018 年 4 月 24 日、11 月 11 日再次测定,得出油松树高和胸径的年平均生长量。

**1.4.3 影响因子调查。**

**1.4.3.1 气候因子调查(温度、湿度)。**在所设置的样地中设置观测点,于 2017 年 7 月 15—18 日,2018 年 7 月 11—13 日每日的 8:00—20:00,使用 Kestrel 3000 型手持气象站,在同

一时间分别观测样地不同坡向、不同坡位的温度和湿度(每 2 h 观测 1 次),得出平均值。

**1.4.3.2 海拔的测定。**使用 GPS 在所选择样地的正中心测出海拔数据即为该样地的海拔。

**1.4.3.3 坡度的测定。**利用坡度仪,在样地的中间部位测定样地的坡度。

**1.4.3.4 坡向坡位的确定。**根据太阳直射来确定半阴半阳坡和阳坡,太阳直射的一面为阳坡,在北半球一般为南朝向的一面,另一面则为半阴半阳坡。利用气候因子调查数据对其进行赋值。

**1.4.3.5 土壤的测定。**用环刀法测定土壤容重;重铬酸钾法测定土壤有机质。

**1.4.4 灰色关联度分析法主要步骤。**

(1)指标的赋值。

(2)数据标准化处理。

(3)求关联系数。

①求绝对差:

$\Delta_{ji}(K) = |x_j(k) - x_i(k)|$ , 其中,  $j = 1, 2; i = 1, 2, \dots, 11; k = 1, 2, \dots, 10$ 。

②求最大值与最小值:

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_i |y_i(k) - x_j(k)|$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_i |y_i(k) - x_j(k)|$$

③计算关联系数:由下列公式,分别计算每个比较序列与参考序列对应元素的关联系数。

$$\xi_{ji}(k) = \frac{\min_j \min_i |y_i(k) - x_j(k)|}{|x_j(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_j \max_i |y_i(k) - x_j(k)|}$$

其中,  $\rho$  为分辨系数,其作用在于提高关联数之间的差异显著。在一般情况下  $\rho \in (0, 1)$ ,  $\rho$  取值不同,并不改变关联度序,但分辨效果明显不同,通常  $\rho = 0.5$ 。

④计算关联度:

$$\gamma_{ji} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{ji}(k)$$

其中,  $j = 1, 2; i = 1, 2, \dots, 11; k = 1, 2, \dots, 10$ 。

⑤求关联序:关联度越大,表明子序列对母序列的影响越大。

**1.5 数据处理** 应用 Excel 2007 软件统计分析数据,并通过 DPS 软件,利用灰色关联度法分析各项因子指标与油松年平均生长量的相关性,确定影响西宁市油松人工林生长的主导因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡向坡位的温度和湿度分析与赋值

**2.1.1 不同坡向坡位的温度和湿度变化。**气温对植物生长发育有重要作用。光合作用、呼吸作用、 $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  在植物细胞内的溶解度、蒸腾作用、根吸收水分和养分的能力均受气温的影响。

空气相对湿度影响光照条件、树木蒸腾和物理蒸发,是水分平衡的重要影响因素。

对不同坡向坡位的温度和湿度变化进行分析,便于下一步将温度和湿度赋值于坡向坡位中,进行标准化计算。

**2.1.1.1 半阴半阳坡与阳坡各坡位温度的比较。**通过对样地中心距离地面 1.5 m 处的位置进行气温观测,得到阳坡和半阴半阳坡的气温日变化曲线。

由图 1、2 可知,在 08:00—20:00 的测定时间内,阳坡和半阴半阳坡在不同坡位时的温度总体变化趋势大致相同,均为先上升后下降。阳坡最高气温出现在 16:00,之后各坡位温度均开始下降;半阴半阳坡最高温度出现在 14:00。在测定时间范围内,半阴半阳坡和阳坡的最低气温都在 08:00(上述温度为 3 d 测得的各时间点的平均温度)。

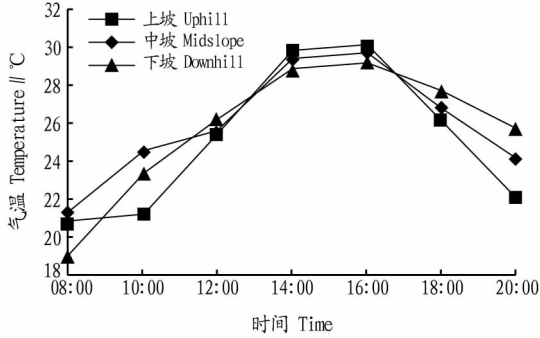


图 1 阳坡 1.5 m 处气温日变化

Fig.1 Diurnal change of temperature at 1.5 m on the sunny slope

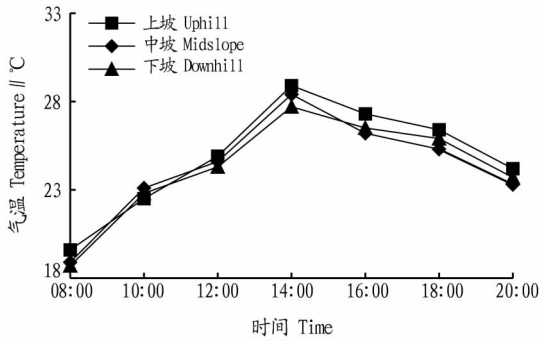


图 2 半阴半阳坡 1.5 m 处气温日变化

Fig.2 Diurnal change of temperature at 1.5 m on the half shade and half sunny slope

**2.1.1.2 半阴半阳坡和阳坡各坡位空气湿度的比较。**通过对样地中心距离地面 1.5m 处的位置进行空气相对湿度的观测,

得到阳坡和半阴半阳坡的相对湿度日变化曲线(图 3、4)。

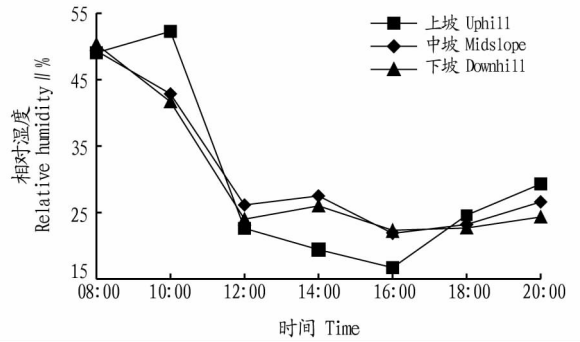


图 3 阳坡 1.5 m 处空气湿度变化

Fig.3 Air humidity change at 1.5 m on the sunny slope

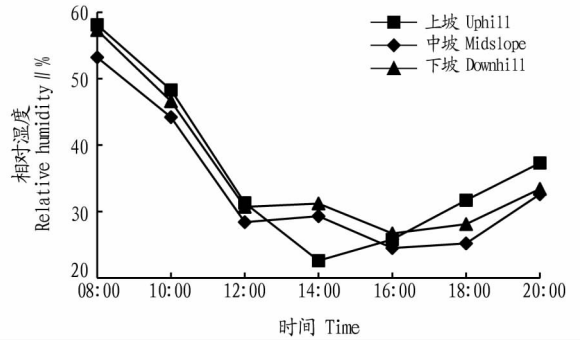


图 4 半阴半阳坡 1.5 m 处空气湿度变化

Fig.4 Air humidity change at 1.5 m on the half shade and half sunny slope

从图 3、4 可看出,无论半阴半阳坡还是阳坡,总体趋势为先下降再上升,中坡和下坡的空气湿度在 12:00—14:00 稍有上升,之后又急剧下降达到最低点,而上坡由于坡向的不同,半阴半阳坡在达到空气湿度最低点的时间比阳坡早 2 h。由于阳坡受太阳直射,植被覆盖量不多,而半阴半阳坡植被较丰富,削弱太阳辐射,致使阳坡的空气湿度明显低于半阴半阳坡。

**2.1.2 不同坡位和坡向量化赋值。**温度和湿度是影响油松生长的重要因素,其相互影响也相互制约,但是根据实际情况而言,温度对油松生长的影响略大于湿度,故将温度与湿度的权重分别定为 0.6 与 0.4。

取 3 d 所测温度和湿度的平均值(表 2)进行赋值计算。

表 2 不同坡位坡向的温度和湿度调查

Table 2 Temperature and humidity survey for different slope orientations

| 坡向<br>Slope aspect                    | 上坡 Uphill             |                   | 中坡 Midslope           |                   | 下坡 Downhill           |                   |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|                                       | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% |
| 半阴半阳坡 Half shade and half sunny slope | 24.93                 | 36.73             | 24.30                 | 33.20             | 24.09                 | 36.43             |
| 阳坡 Sunny slope                        | 25.11                 | 30.36             | 25.97                 | 31.08             | 25.76                 | 30.19             |

由于坡向坡位与温度和湿度能相互影响,故不能单独处理,需将温度与湿度赋值于坡向坡位中,但由于温度湿度的单位不同,需对其数据进行平均化处理,使其处于同一量

纲级,便于分析,平均值化结果见表 3。

对不同坡向坡位的温度和湿度进行加权计算,结果见表 4。

表 3 温度与湿度平均值化

Table 3 The averaging temperature and humidity

| 坡向<br>Slope aspect                    | 上坡 Uphill             |                   | 中坡 Midslope           |                   | 下坡 Downhill           |                   |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|                                       | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% | 温度<br>Temperature//°C | 湿度<br>Humidity//% |
| 半阴半阳坡 Half shade and half sunny slope | 0.498 2               | 0.547 5           | 0.483 4               | 0.516 5           | 0.483 2               | 0.536 8           |
| 阳坡 Sunny slope                        | 0.501 7               | 0.452 5           | 0.516 6               | 0.483 5           | 0.516 8               | 0.453 2           |

表 4 温度与湿度加权数值

Table 4 The weighted values of temperature and humidity

| 坡向<br>Slope aspect                       | 上坡<br>Uphill | 中坡<br>Midslope | 下坡<br>Downhill |
|--|--------------|----------------|----------------|
| 半阴半阳坡<br>Half shade and half sunny slope | 0.517 9      | 0.496 6        | 0.504 6        |
| 阳坡 Sunny slope                           | 0.482 0      | 0.503 4        | 0.491 4        |

2.2 对影响油松生长的因子分析 根据查询的文献以及实地调查的数据,整理得出油松生长状况调查表(表 1),以年平均树高生长量( $Y_1$ )、年平均胸径生长量( $Y_2$ )为母数列,以坡向坡位( $X_1$ )、坡度( $X_2$ )、海拔( $X_3$ )、土壤容重( $X_4$ )、土壤有机质( $X_5$ )为子数列进行灰色关联分析。

根据调查资料和测得的数据,整理得油松生长量及因子调查表(表 5)。

表 5 油松生长量及因子调查

Table 5 Growth and factors survey for *Pinus tabulaeformis*

| 样地号<br>Plot number | 坡向坡位<br>Aspect and position of slope | 坡度<br>Slope gradient<br>° | 海拔<br>Altitude<br>m | 土壤容重<br>Soil bulk density<br>g/cm <sup>3</sup> | 土壤有机质<br>Soil organic matter//g/kg | 年平均树高生长量<br>Average annual tree height growth//cm | 年平均胸径生长量<br>Average annual DBH growth//cm |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|--|------------------------------------|---|---|
| 1                  | 半阴半阳坡上坡位                             | 27                        | 2 453               | 1.29   | 5.85                               | 65.4  | 1.2                                       |
| 2                  | 阳坡中坡位                                | 9                         | 2 341               | 1.28   | 6.34                               | 90.1  | 2.8                                       |
| 3                  | 阳坡下坡位                                | 13                        | 2 295               | 1.25   | 2.34                               | 86.7  | 2.3                                       |
| 4                  | 阳坡上坡位                                | 16                        | 2 380               | 1.26   | 3.39                               | 73.8  | 1.9                                       |
| 5                  | 半阴半阳坡中坡位                             | 29                        | 2 346               | 1.26   | 3.42                               | 65.5  | 1.1                                       |
| 6                  | 阳坡下坡位                                | 6                         | 2 267               | 1.23   | 2.61                               | 85.9  | 2.5                                       |
| 7                  | 阳坡上坡位                                | 7                         | 2 586               | 1.24   | 4.56                               | 68.1  | 1.1                                       |
| 8                  | 阳坡中坡位                                | 5                         | 2 464               | 1.25   | 5.01                               | 88.6  | 2.4                                       |
| 9                  | 半阴半阳坡下坡位                             | 14                        | 2 337               | 1.27   | 2.97                               | 79.5  | 1.8                                       |
| 10                 | 阳坡上坡位                                | 10                        | 2 368               | 1.29   | 3.16                               | 83.5  | 2.3                                       |
| 11                 | 半阴半阳坡中坡位                             | 25                        | 2 343               | 1.24   | 2.84                               | 82.8  | 2.2                                       |
| 12                 | 阳坡下坡位                                | 11                        | 2 287               | 1.23   | 2.79                               | 72.4  | 1.6                                       |

由于坡位坡向是定性因子,需将其量化,所以对表 5 内数值进行赋值、平均值化处理、求绝对差等过程,得到油松树高和胸径生长量的关联系数,结果见表 6、7。

表 6 油松平均树高生长量关联系数

Table 6 Correlation coefficient of average tree height growth of *P. tabulaeformis*

| 样地号<br>Plot number | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | $X_4$   | $X_5$   |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                  | 0.839 1 | 0.361 8 | 0.748 2 | 0.756 0 | 0.453 8 |
| 2                  | 0.795 4 | 0.534 4 | 0.788 4 | 0.822 3 | 0.528 1 |
| 3                  | 0.868 6 | 0.752 1 | 0.814 2 | 0.844 9 | 0.552 0 |
| 4                  | 0.858 4 | 0.772 1 | 0.904 9 | 0.906 5 | 0.936 2 |
| 5                  | 0.789 7 | 0.333 8 | 0.794 5 | 0.780 9 | 0.892 9 |
| 6                  | 0.881 7 | 0.468 8 | 0.812 4 | 0.838 1 | 0.597 3 |
| 7                  | 0.881 8 | 0.611 6 | 0.728 3 | 0.834 6 | 0.636 2 |
| 8                  | 0.816 2 | 0.433 3 | 0.870 2 | 0.816 8 | 0.749 9 |
| 9                  | 1.000 0 | 0.944 6 | 0.957 4 | 0.997 2 | 0.726 2 |
| 10                 | 0.961 7 | 0.620 0 | 0.902 5 | 0.941 9 | 0.725 7 |
| 11                 | 0.908 0 | 0.463 6 | 0.900 2 | 0.898 0 | 0.664 2 |
| 12                 | 0.868 2 | 0.794 7 | 0.935 1 | 0.915 0 | 0.766 1 |

根据计算过程,得到各生长影响因子与油松年均树高生长量关联值分别是  $X_1 = 0.603 5$ ,  $X_2 = 0.274 8$ ,  $X_3 = 0.551 1$ ,  $X_4 = 0.585 7$ ,  $X_5 = 0.345 1$ 。

各生长影响因子与油松年均胸径生长量关联值分别是  $X_1 = 0.484 4$ ,  $X_2 = 0.379 5$ ,  $X_3 = 0.411 1$ ,  $X_4 = 0.475 4$ ,  $X_5 = 0.483 2$ 。

表 7 油松平均胸径生长量关联系数

Table 7 Correlation coefficient of average DBH growth of *P. tabulaeformis*

| 样地号<br>Plot number | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | $X_4$   | $X_5$   |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                  | 0.707 9 | 0.375 0 | 0.654 5 | 0.659 1 | 0.450 5 |
| 2                  | 0.631 4 | 0.482 3 | 0.628 0 | 0.644 8 | 0.778 2 |
| 3                  | 0.826 1 | 0.739 1 | 0.786 2 | 0.808 9 | 0.575 6 |
| 4                  | 0.952 9 | 0.867 2 | 0.998 3 | 1.000 0 | 0.919 8 |
| 5                  | 0.648 0 | 0.342 1 | 0.650 6 | 0.643 3 | 0.701 1 |
| 6                  | 0.741 2 | 0.466 0 | 0.701 1 | 0.716 2 | 0.561 8 |
| 7                  | 0.674 8 | 0.924 0 | 0.597 9 | 0.652 3 | 0.546 1 |
| 8                  | 0.765 4 | 0.460 8 | 0.802 7 | 0.765 9 | 0.917 4 |
| 9                  | 0.922 2 | 0.965 7 | 0.955 4 | 0.926 0 | 0.856 9 |
| 10                 | 0.850 1 | 0.612 2 | 0.812 6 | 0.837 7 | 0.691 5 |
| 11                 | 0.856 2 | 0.559 7 | 0.850 6 | 0.849 2 | 0.670 9 |
| 12                 | 0.817 7 | 0.948 1 | 0.864 2 | 0.850 4 | 0.915 4 |

所以,按照关联度分析的原则,其关联度越大,就表明子序列对母序列的影响越大。

由上述数据可得:对油松年平均树高生长量的影响因子

大小排序为  $X_1 > X_4 > X_3 > X_5 > X_2$ , 即坡向坡位、土壤容重、海拔、土壤有机质、坡度。

对油松年平均胸径生长量的影响因子大小排序为  $X_1 > X_5 > X_4 > X_3 > X_2$ , 即坡向坡位、土壤容重、土壤有机质、海拔、坡度。

从关联序可以看出, 5种因子对油松高生长和胸径生长都有着不同程度的影响, 影响最大均是坡位坡向, 关联度分别是 0.603 5、0.484 4, 明显高于其他因子的关联度; 而对于树高来说, 其次是土壤容重, 影响作用比海拔稍大, 胸径则相反, 海拔的影响略逊于土壤容重; 再者是土壤有机质含量和坡度, 坡度对油松树高和胸径的影响最小, 因此, 影响西宁市油松人工林生长的主导因子为坡向坡位。

### 3 结论与讨论

研究表明, 对油松年平均树高生长量的影响因子排序是  $X_1 > X_4 > X_3 > X_5 > X_2$ , 即坡向坡位、土壤容重、海拔、土壤有机质、坡度; 对油松年平均胸径生长量的影响因子排序  $X_1$ 、 $X_5$ 、 $X_4$ 、 $X_3$ 、 $X_2$ , 即坡向坡位, 土壤容重, 土壤有机质, 海拔, 坡度。所以, 影响西宁市油松人工林生长的主导因子是坡向坡位。

研究影响西宁市油松人工林生长的主导因子对西宁市油松的管护、造林以及对西宁市绿化都有十分重要的作用。西宁地区地处高原, 恶劣的环境条件对植被生长有很大影响, 而油松是西宁地区的主要造林树种, 在西宁地区, 已有科研人员研究了施肥对油松生长的促进作用<sup>[10]</sup>, 油松病害的原因以及改善方法<sup>[11]</sup>, 油松造林方法<sup>[13]</sup>, 油松育苗技术<sup>[12]</sup>, 而通过对影响其生长的主导因子的研究, 为油松人工林的培育打下了理论基础。该试验利用灰色关联度法分析影响西宁市油松人工林生长的主导因子, 该方法能将多种变量同时进行处理, 分析其对某几个变量的关联程度, 关联度最大的即为主导因子。灰色关联度法有利于多因子的分析, 并能在很大程度上减少由于信息不对称带来的损失。

由于西宁地区林场内油松纯林的面积较小, 分布较为稀疏, 多为混交林, 故选择树龄为 20~30 年的油松人工林, 以减少混交树种对其生长的影响。西宁地区油松主要生长在阳坡, 半阴半阳坡面较少, 阴坡最少, 此次调查未能找到符合试验要求的阴坡油松, 因此文中没有阴坡油松的调查数据。在实地调查中, 可能由于不同林场抚育管理方式和时间的不同, 近乎同龄的油松人工林在树高和胸径上有着较为明显的

差距, 但是年平均生长量相差不大, 对该试验的影响甚微。该试验同时分析了气候因子和立地因子对油松人工林的影响, 是目前西宁地区少有的研究。此前, 多数研究为单个因子对油松生长的影响, 相较而言该试验更加复杂, 考虑更加全面。由于条件的限制, 未调查其他龄级油松人工林, 因此该研究结论为初步结论且仅适用于青海地区。

根据研究得出, 不同的坡位坡向有着不同的温度和湿度, 如阳坡的湿度要低于半阴半阳坡, 但温度要高于半阴半阳坡; 上坡位温度要高于中坡位和下坡位, 而湿度要低于中坡位和下坡位。从分析结果看, 对树高和胸径生长影响最大的是坡向坡位, 即坡向坡位为影响西宁市油松人工林生长的主导因子。为保证高原地区城乡绿化造林质量, 提高西宁市油松林的造林成活率, 以生长因子不同的同龄油松人工林为研究对象。对油松在不同生境条件的生长状况进行调查, 分析不同因子对油松生长的影响程度, 可为西宁地区油松的合理栽培经营和抚育提供科学的理论依据。在此之后, 可通过对各龄级油松人工林进行全方位研究, 探讨各立地因子与气候因子对西宁市油松人工林各龄级阶段的具体影响。

### 参考文献

- [1] 贾春芳, 臧志, 谷鑫鑫, 等. 造林密度对西宁市油松人工林生长的影响[J]. 青海大学学报, 2018, 36(6): 9-13, 33.
- [2] 罗伟祥, 刘广全, 李嘉旺, 等. 西北主要树种培育技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 238-245.
- [3] 李裕元, 郑纪勇, 邵明安. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(12): 2447-2456.
- [4] 焦醒, 刘广全. 陕西黄土高原油松生长状况及其影响因子分析[J]. 西北植物学报, 2009, 29(5): 1026-1032.
- [5] 沈国舫, 关玉秀, 周沛村, 等. 影响北京市西山地区油松人工林生长的立地因子[J]. 北京林业大学学报, 1979(00): 96-104.
- [6] 张康健, 薛德自, 孙长忠. 渭北黄土高原油松数量化立地质量得分表的编制及其应用[J]. 西北林学院学报, 1984(00): 60-71.
- [7] 王青山, 孙玉鹏, 李连江. 自然因子对油松撒播造林的影响及对策[J]. 防护林科技, 2006(S1): 41-42.
- [8] 刘明国, 殷有, 孔繁斌, 等. 辽西半干旱地区油松人工林天然更新的影响因子研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(4): 418-423.
- [9] 汤雨宁. 朝阳地区油松天然更新规律及人工促进措施研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
- [10] 袁小红. 西宁南山油松造林施肥对比试验[J]. 青海农林科技, 2009(3): 56-57.
- [11] 马文斌, 郭军. 西宁地区油松病害调查及防治初步研究[J]. 青海农林科技, 2010(1): 6-8, 21.
- [12] 张金善, 秦莲萍. 青海油松育苗技术[J]. 中国林业, 2010(12): 49.
- [13] 何占禧, 李宝章. 青海东部地区山地油松造林技术[J]. 现代农业科技, 2010(13): 240.
- [14] 早期形态特征及生长速度的比较[J]. 水产学报, 2011, 35(7): 1065-1071.
- [15] 张福崇, 王玉美, 方笑, 等. 盐度对杂交东方鲀存活和摄食的影响[J]. 河北渔业, 2012(12): 2-6.
- [16] 张福崇, 赵海涛, 王玉美. 杂交河鲀 F1 代苗种生产与养殖技术研究[J]. 河北渔业, 2011(10): 19-21, 32.
- [17] 于力群, 王厚鹏, 朱作言, 等. 生长激素/催乳素家族配体和受体成员在斑马鱼早期胚胎中的表达比较和交叉活性分析[J]. 水生生物学报, 2014, 38(5): 809-818.
- [18] 张耀, 郭定宗. 催乳素结构与功能研究进展[J]. 动物医学进展, 2007, 28(5): 49-52.
- [19] 匡刚桥, 刘臻, 鲁双庆. 鱼类生长激素基因的研究现状及展望[J]. 水利渔业, 2006(6): 1-3.
- [20] 徐斌, 李德尚, 张培军. 鱼类生长激素的分子生物学和应用研究的进展[J]. 海洋与湖泊, 1997(5): 553-557.

(上接第 109 页)

- [12] 张春兰, 秦孜娟, 王桂芝, 等. 转录组与 RNA-Seq 技术[J]. 生物技术通报, 2012(12): 51-56.
- [13] 李琳, 冯帅, 汪莹, 等. 鼠伤寒沙门菌 ATCC13311 诱导耐药株的转录组测序和分析[J]. 中国兽医学报, 2015, 35(7): 1088-1094, 1111.
- [14] ANDERS S, HUBER W. Differential expression analysis for sequence count data[J]. Genome Biol, 2010, 11: 1-12.
- [15] TRAPNELL C, WILLIAMS B A, PERTEA G, et al. Transcript assembly and quantification by RNA-seq reveals unannotated transcripts and isoform switching during cell differentiation[J]. Nat Biotechnol, 2010, 28(5): 511-515.
- [16] TRAPNELL C, ROBERTS A, GOFF L, et al. Differential gene and transcript expression analysis of RNA-seq experiments with TopHat and Cufflinks[J]. Nat Protoc, 2012, 7(3): 562-578.
- [17] 范文涛, 刘海金, 赵文江, 等. 菊黄东方鲀♀×红鳍东方鲀♂ 杂交后代