

一种特定地区植物最优光伏分布规划

李宇鹏*, 王欣宇, 李富星#

延安大学数学与计算机科学学院, 陕西 延安

收稿日期: 2024年4月29日; 录用日期: 2024年5月22日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

本文研究了核桃树的栽植方式和最优光照分布。通过分析树木的受光情况, 建立了太阳高度角和太阳方位角模型。通过构建锥形树冠模型, 近似树冠形状, 计算出光照强度和阴影面积。根据每天的太阳高度角, 确定了不同时间季节树冠的受光和遮荫情况。使用矩阵来构建林带模型, 并使用矩阵网格来排列树木。通过以上步骤, 研究了不同条件下核桃树树冠的受光和遮荫情况随时间季节的变化。首先, 利用天文学和数学模型, 可以用MATLAB编写代码来计算核桃树阴影的高度和方向变化。根据延安的经纬度, 可以计算出时角和方位角。然后, 根据太阳高度角、太阳方位角和核桃树的平均高度, 可以使用影长公式来计算每小时的阴影高度和方向变化。使用阴影面积计算公式来分析每小时的阴影面积变化。其次, 不同林带行向间树木树冠的受光和遮荫情况随时间、季节变化复杂。将树冠建模为圆锥形, 可以解决相关问题。在太阳方向角一定范围内, 树冠受光为圆锥表面的一半。其他角度范围内, 受光和遮荫面积取决于树冠的夹角、阳光直射角、树冠高度和形状。再次, 在问题三的基础上, 根据坡向和坡度, 调整太阳高度角, 计算影子长度和方向, 构建树木排列模型, 并根据行列间距和树木的尺寸, 计算每个树木在斜坡上的水平和垂直位置, 最后将每个树木的受光及遮荫情况组合起来, 得到在西北坡度为 10° 的陕北黄土高原地形上行列间树木树冠的受光及遮荫情况随时间和季节的变化。最后使用MATLAB建立核桃生长函数模型, 考虑日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小等因素。输入平均日照时数、年均降水量、黄土土壤肥力, 探索不同树冠大小和株行距对核桃生长得分的影响, 找到最高核桃生长得分。

关键词

MATLAB, 核桃生长模型, 疏散分层形, 几何分析, 锥形树冠模型

An Optimal PV Distribution Plan for Plants in a Specific Area

Yupeng Li*, Xinyu Wang, Fuxing Li#

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

In this paper, the planting method and the optimal light distribution of walnut trees are studied. The solar altitude Angle and solar azimuth Angle models are established by analyzing the light received by trees. The light intensity and shadow area were calculated by constructing a conical canopy model and approximating the shape of the canopy. According to the sun altitude Angle every day, the light and shade of the tree crown in different seasons were determined. This paper used a matrix to build a forest belt model and used a matrix grid to arrange the trees. Through the above steps, the changes of light and shade of walnut crown with time and season were studied under different conditions. First, using astronomical and mathematical models, it is possible to write code in MATLAB to calculate the height and orientation changes of the walnut tree shadow. According to the latitude and longitude of Yan'an, the hour Angle and the azimuth Angle can be calculated. Then, based on the sun altitude Angle, the sun azimuth Angle, and the average height of the walnut tree, the shadow length formula can be used to calculate the hourly shadow height and direction change. The shadow area calculation formula is used to analyze the shadow area change per hour. Secondly, the light and shade of the tree canopy in different forest belt direction varied with time and season. Modeling the tree crown as a cone shape solves the problem. Within a certain range of the sun direction Angle, the light received by the crown is half that of the cone surface. In other angles, the area of light and shade depends on the Angle of the tree crown, the Angle of direct sunlight, the height and shape of the tree crown. More in-depth, first of all, MATLAB and mathematical formulas were used for mathematical modeling. A rectangular grid was used to build a tree arrangement model and calculate the position of each tree. Second, the light and shade of each tree were calculated over time and season. A function model was defined to calculate the occlusion of each tree. The light and shade conditions of each tree were combined to obtain the changes of the light and shade conditions of the tree canopy with time and season. Thirdly, on the basis of problem 3, this paper adjusted the sun height Angle according to the slope direction and slope, calculated the shadow length and direction, built a tree arrangement model and calculate the horizontal and vertical position of each tree on the slope according to the column spacing and tree size, and finally combined the light and shade of each tree. The changes of light and shade of tree canopy between rows and rows with time and season were obtained on the Loess Plateau with a slope of 10° in the northwest of Shaanxi Province. Finally, the growth function model of walnut was established using MATLAB, considering the sunshine hours, precipitation, soil fertility, row spacing, canopy size and other factors. With the input of average sunshine hours, average annual precipitation and loess soil fertility, the effects of different canopy size and row spacing on walnut growth score were explored, and the highest walnut growth score was found.

Keywords

MATLAB, Walnut Growth Model, Evacuation Stratification, Geometric Analysis, Conical Canopy Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 问题重述

林草植被在维护生态环境安全方面发挥重要作用：防风固沙，充分利用当地的气候资源，光能以及大气降水资源，发展立体农业，增加当地群众的经济收入，改善生活，促进当地生态环境与社会经济长远稳定的持续发展。黄土高原地区(以延安(纬度：36.5°，经度：109.5°)地区为例)经济林种植对当地生态环境与经济社会的长期稳定发展尤为重要。以核桃经济林为例，种植在东南西北正方形水平地块，建立数学模型。

单株树木树冠的受光及遮阴而形成阴影会随时间、季节变化。根据已知的经纬度，使用 MATLAB 软件编辑代码，建立太阳高度角和太阳方位角模型，从而输出延安地区一年中每日每时太阳高度角和太阳方位角的结果；然后，根据阴影面积计算公式，求解、分析每日每时阴影面积的变化情况。

不同林带行向间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间、季节变化情况。通过计算得出在太阳方向角处于一定范围(Ω 到 $\pi - \Omega$)时，通过上面问题的每天每时的实时数据，结合对所建立圆锥相关的数学模型求解，即可得到不同林带行向间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间、季节变化情况。

由于地貌复杂，分析坡向为西北，坡度为 10°的陕北黄土高原地形上，片林中行列间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间季节变化，在问题三的基础上，根据坡向和坡度，调整太阳高度角，基于几何关系得出新的影长公式，计算影子长度和方向，构建树木排列模型并根据行列间距和树木的尺寸，计算每个树木在斜坡上的水平和垂直位置，最后将每个树木的受光及遮阴情况组合起来，得到在西北坡度为 10°的陕北黄土高原地形上行列间树木树冠的受光及遮阴情况随时间和季节的变化。

给出林木栽植株行距与树冠大小及树型结构管护的合理建议。根据延安核桃树生长的因素——日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小，使用 MATLAB 建立核桃生长函数模型，评估核桃的生长得分，寻找核桃林的最佳株行距和树冠大小，为延安地区安排核桃林的栽植。对于树型结构管护，根据路跃琴、邱梅等人的文章结论，总结得出树型结构管护方法。

2. 建模分析

2.1. 单株建模

首先依据延安的经纬度(纬度：36.5°，经度：109.5°)，根据太阳高度角、太阳方位角和核桃树的平均高度[1]，利用影长公式(影子长度 = 核桃树平均高度 ÷ 太阳高度角的正切值)和阴影方向角公式(阴影方向角 = $180^\circ - \text{太阳方位角}$)，得出一年中核桃树每日每时影子高度和方位变化；然后，由于太阳投影的直射，根据阴影面积计算公式[1]，可以求解、分析出每日每时阴影面积的变化情况。

2.2. 多株建模

较之于上一问，从单一植株到行带林，就有了树冠对树冠的遮光影响。树冠间的受光和遮光情况较为复杂。通过将树冠建模为圆锥形，来解决相关问题。首先通过计算得出在太阳方向角处于一定范围(Ω 到 $\pi - \Omega$)时，各个树冠的受光始终为圆锥上表面的一半。而从 0° 到 Ω 和从 $\pi - \Omega$ 到 π 里，树冠间的受光面积及其遮光面积会随着树冠斜边与底边的夹角、阳光直射角与水平面的夹角、树冠的高度、树冠的形状有关系。通过上一问的每天每时的实时数据，结合对所建立圆锥相关的数学模型求解，即可得到不同林带行向间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间、季节变化情况。

2.3. 加入角度建模

较之于上面问题，西北坡向意味着在冬季，由于太阳主要在南方，林地的受光情况会较差，夏季则

较好。基于几何关系，得到新的阴影长度公式并计算，阴影的方向也可能会受到影响。这取决于太阳的方位角和坡的方向之间的关系。构建树木排列模型并根据行列间距和树木的尺寸，计算每个树木在斜坡上的水平和垂直位置，最后将每个树木的受光及遮阴情况组合起来，得到在西北坡度为 10° 的陕北黄土高原地形上行列间树木树冠的受光及遮阴情况随时间和季节的变化。

2.4. 得出最优规划

根据延安核桃树生长的因素——日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小，使用 MATLAB 建立核桃生长函数模型，并用该模型为延安地区安排核桃林的栽植。首先定义一个函数，对五个生长因素进行权重分布[2]，评估核桃的生长得分；其次输入平均日照时数、年均降水量、黄土土壤肥力，使用双重 for 循环探索不同的树冠大小和株行距所得出来的核桃的生长得分，并用 if 语句寻找核桃的最高生长得分，从而确定核桃林的最佳株行距和树冠大小。对于树型结构管护，根据路跃琴、邱梅等人的文章结论，总结得出树型结构管护方法。

3. 模型假设

- 1、这个地块的边长为 L ，且核桃树位于地块的中心，地块为平地；
- 2、核桃树生长垂直于地平线，太阳光线平行；
- 3、忽略核桃树的树干长度，近似认为树高等于树冠高度；
- 4、近似认为核桃树外形都相同，树冠呈圆锥形，阴影面积呈等腰三角形；
- 5、一年以 365 天计；
- 6、不考虑大气折射、地球的椭圆轨道、地球的轴倾斜变化等因素；
- 7、考虑土壤肥力、降水量和日照时数是决定核桃生长的三大关键因素，不考虑水分蒸发和土壤含水量等因素；
- 8、核桃树的株行距与其生长速率和果实产量呈正相关；
- 9、假设树冠与树冠间的距离都相等。

4. 符号说明

Table 1. Symbol hypothesis table

表 1. 符号假设表

符号	含义	单位
H	核桃树树冠的平均高度	m
R	圆锥形树冠的底面半径	m
D	两树冠之间的距离	m
ω	树冠斜边与底边的夹角	$^\circ$
α	太阳高度角	$^\circ$
β	太阳方位角(相对于正北方向)	$^\circ$
L_s	树木阴影长度(高)	m
D_s	树木阴影底边长度	m
θ	树木阴影方向夹角(相对于正北方向)	$^\circ$
S_y	太阳直射时树木投影面积	m^2
S	树冠的遮蔽面积	m^2

其中见表 1, H 为核桃树树冠的平均高度; 见上表 R 为圆锥形树冠的底面半径; 见上表 D 为两树冠之间的距离; 见上表 ω 就是树冠斜边与底边的夹角; 见上表 α 是太阳高度角; 见上表 β 分别为太阳方位角(相对于正北方向); 见上表 L_s 是树木阴影长度(高); 见上表 D_s 即为树木阴影底边长度; 见上表 θ 是树木阴影方向夹角(相对于正北方向); 见上表 S_y 为太阳直射时树木投影面积; 见上表 S 为树冠的遮蔽面积。

5. 模型建立与求解

5.1. 单株模型建立与求解

5.1.1. 计算太阳高度角 α 和方位角 β

太阳高度角为负数, 表示此时延安处于黑夜, 核桃树阴影长度为 0, 阴影面积为 0。

5.1.2. 计算树木阴影长度 L_s 和阴影底边长度 D_s

根据三角几何关系, 树木的阴影长度 L_s 和阴影底边长度 D_s 可以表示为:

$$L_s = H \div \tan(\alpha), \quad D_s = 2R \div \tan(\alpha)$$

5.1.3. 计算阴影方向角 θ

阴影的方向一般与太阳方位角 β 相关。在北半球, 我们可以计算 θ 如下:

$$\theta = 180^\circ - \beta$$

5.1.4. 阴影面积的计算

假设核桃树树冠平均高度 H 为 7 m, 圆锥形树冠的底面半径 R 为 3 m。由

$$L_s = H \div \tan(\alpha)$$

$$D_s = 2R \div \tan(\alpha)$$

可知, 根据三角形面积公式, 阴影面积 S_y 可以表示为:

$$S_y = 0.5 \times L_s \times D_s$$

5.1.5. 结果分析

6 月 22 日太阳高度角逐时递减, 正午达最大值 75.43° , 午时树冠光面积最大, 阴影 1.42 m^2 ; 12 月 23 日太阳高度角逐时递增, 正午达最小值 -75.43° , 午时树冠阴影最大, 光面积 64.84 m^2 。

季节变化: 春分日日照时长 12 小时, 影子位于东南方向和东北方向; 最小长度 5.33 m, 最大长度 67.21 m。夏至日日照时长 14 小时, 影子位于东南、东北、西北和西南方向; 最小长度 1.82 m, 最大长度 49.38 m。秋分日日照时长 12 小时, 影子位于西北和西南方向; 最小长度 5.25 m, 最大长度 64.43 m。冬至日日照时长 10 小时, 影子位于西南和东南方向; 最小长度 12.3 m, 最大长度 153.24 m。

树冠阴影长度和面积呈倒 U 形, 正比关系。11~12 时阴影面积最小, 受光面积最大; 日出和日落时阴影最大, 受光最小。季节更替以春分、夏至、秋分、冬至为周期。夏至日树冠阴影面积最小, 冬至日最大; 正午阴影面积最小, 向两侧指数增加, 太阳落下后为 0。春季阴影由东南向东北变化, 夏季由东北向西南, 秋季由西北向西南, 冬季由西南向东南。春分日阴影面积高于秋分日。

5.2. 多株模型建立与求解

5.2.1. 模型建立

对树冠进行近似于圆锥的建模, 且忽略树干对结果的影响; 假设行带林为矩形分布。

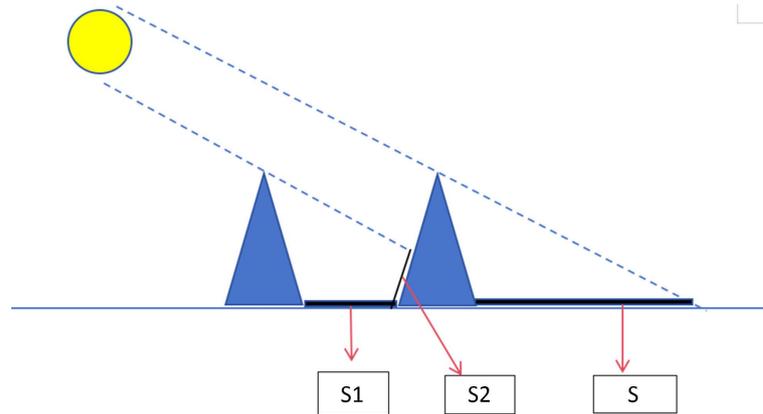


Figure 1. Preliminary modeling diagram
图 1. 初步建模图

见图 1，为某一天某一时刻太阳光照射在植被上的光线分析，太阳光用虚线假设，所形成的阴影，用加粗黑线表示。

对于最东侧的树冠：

受光：在 0 到 $\pi/2 + \Omega$ 之间，受光保持圆锥上表面积的一半；在 $\pi/2 + \Omega$ 到 π 之间将由后续建模求解。

阴影：在一定范围内为三角形，在一定范围内因为有其他树冠的存在导致原本应为三角形的阴影有部分投影到其他树冠上。

对于最西侧的树冠：

受光：在 $\pi/2 + \Omega$ 到 π 之间，受光保持圆锥上表面积的一半；在 0 到 $\pi/2 - \Omega$ 之间将由后续建模求解。

阴影：在一定范围内为三角形，在一定范围内因为有其他树冠的存在导致原本应为三角形的阴影有部分投影到其他树冠上。

对于中间的树冠：

受光：在 Ω 到 $\pi/2 + \Omega$ 之间，总为圆锥上表面积的一半；在其他区间会由于其东西侧都存在树冠与太阳角度的影响导致受光被影响。

阴影：由于有东西侧都存在树冠与太阳角度的影响，会导致阴影投影到其他树冠上。

5.2.2. 模型分析

通过分析，假设树冠的遮蔽面积为 S ，那么有以下公式：

$$S_{\text{遮蔽}} = Sa + Sb - Sc + Sd \quad (1)$$

(Sb 为整个右侧三角投影，即包括 Sc)

如图所示：

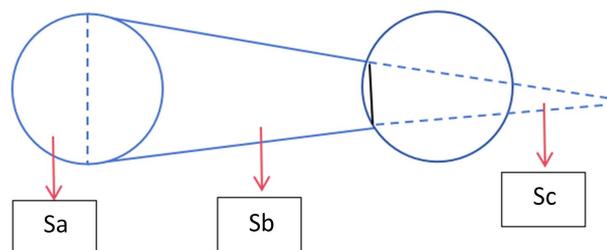


Figure 2. Horizontal shadow analysis diagram
图 2. 水平阴影分析图

见图 2, 为某一天某一时刻太阳光照射在植被上水平切面上的阳光照射植被切面图, 制备轮廓用蓝色实线和虚线表示。

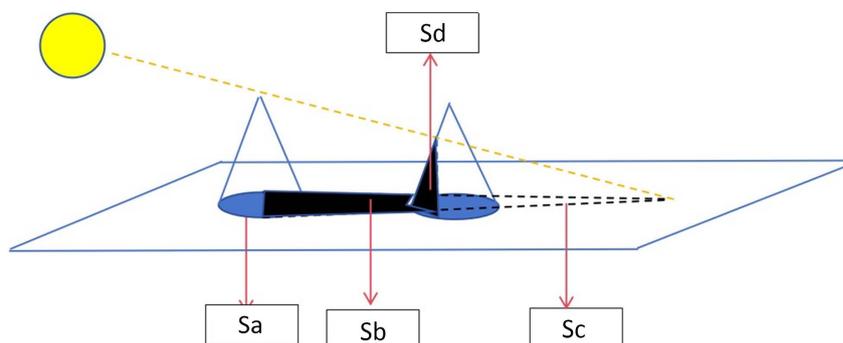


Figure 3. Stereoscopic shadow analysis diagram
图 3. 立体阴影分析图

见图 3, 为在三维空间中某一天某一时刻的阳光照射植被立体图, 其中植被被照射所形成的阴影用黑色区域表示。

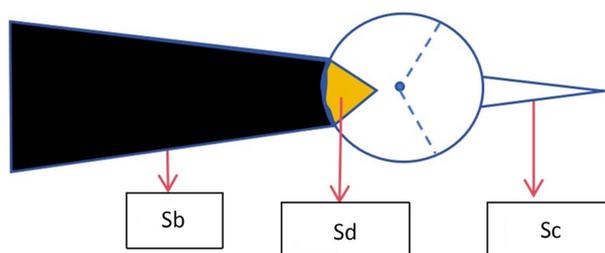


Figure 4. Shadow analysis diagram
图 4. 阴影分析图

见图 4, 为阳光照射于植被表面时所形成阴影图, 其中 S_b 部分表示图示植株左侧蜘蛛因太阳照射所形成的阴影, S_d 和 S_c 分别为阴影分析。

5.2.3. 计算阴影部分 S_a

由于假设中树干高度不影响, 则其应恒为树冠底部面积的一半:

$$S_a = 0.5 \times \pi \times R^2 \quad (2)$$

由问题一中的假设, 假设树冠底面半径 R 为 3 米, 可得阴影面积 S_a 为 14, 13 m^2 。

5.2.4. 计算阴影部分 S_b

由分析可知, 这一部分阴影面积为等腰三角形, 且底边长为树冠的直径, 高为树冠随着太阳角度变化的阴影长度,

$$S_b = 2 \times R \times L_s \quad (3)$$

由问题一中的假设和结果, 将 $R = 3$ 和影子长度(高)中的数据带去公式(3), 得到阴影面积 S_b 。

5.2.5. 计算阴影部分 S_c

见图 5, 为当太阳光直射到植被上时, 将植被所被照射面积的分解图, S_1 为其正面照射面积, S_2 为本植被因遮挡太阳光所形成的阴影面积。

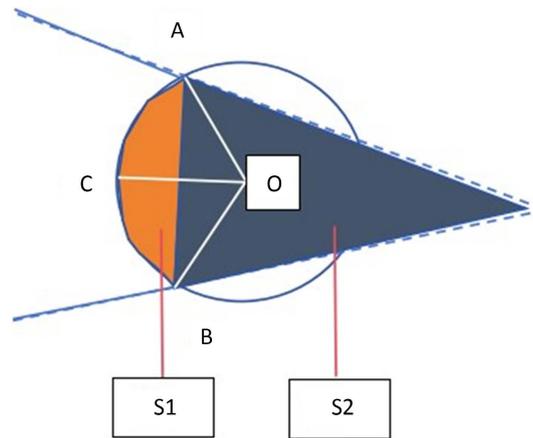


Figure 5. Area decomposition diagram
图 5. 面积分解图

经分析可将 S_c 分解为 $S_1 + S_2$ 。

设线段 CO 与 AB 的交点为 D ，则有以下公式：

$$S_1 = S_{ACBO} - S_{ABO} \quad (4)$$

S_{ACBO} 的面积通过求得角 AOB ，之后通过圆心角求得其面积。角 AOD 在三角形 AOD 中可解：

$$\cos \angle AOD = OD/AO \quad (5)$$

AO 的长度已知，为树冠的半径。所以现在的问题集中于求解 OD 的长度。

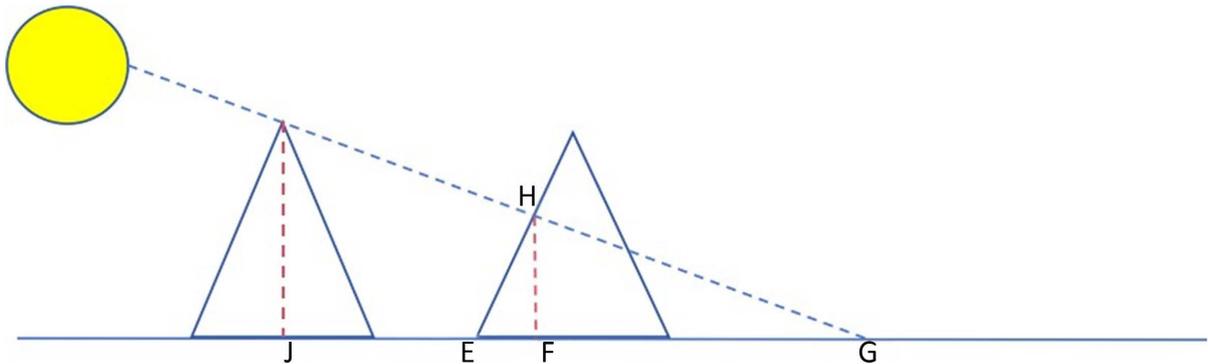


Figure 6. Longitudinal view
图 6. 纵切面图

见图 6，正午时，太阳光直射多个植被时纵面切面图，其中 H 点为左侧植被的阴影投射到右侧植被上时的最高点。

如上图模型的纵面切图可以得到以下关系：

$\angle HEF$ 是前提假设树冠的斜边与底边的夹角；

$\angle HGF$ 是前提假设阳光直射角与水片面向右方向的夹角；而通过上面的分析可得：

$$JG = L_s \quad (6)$$

$$EG = L_s(JG) - D + R \quad (7)$$

其中 L_s 为单一树冠在某时刻的影子长度，是太阳角的函数； D 是两树冠间树冠顶点在地面上所投影的水平距离； R 为圆锥形树冠地面半径。

则在三角形 HEG 中知道两角及其夹边，所以该三角形可解。

$$\angle EHG = \pi - \angle HEF - \angle HGF \tag{8}$$

$$2 \cos \angle EHG = EH^2 + HG^2 - EG^2 \tag{9}$$

$$2 \cos \angle HEF = EH^2 + EG^2 - HG^2 \tag{10}$$

联立上式，即可得到 EH 的长度。

因为：

$$HF = \sin \angle HEF \times EH \tag{11}$$

可以得到 HF 的长度。

接着又由相似成比例的特点：有以下关系：

$$\frac{HF}{H} = \frac{EF}{R} \tag{12}$$

其中 H 是树冠的高度， R 是树冠底面半径。从而得出 EF 。

至此，上述描述中所集中的问题：“集中于求解 OD 的长度”已解决，即：

$$OD = R - EF \tag{13}$$

所以

$$S_{ACBO} = \pi \times R^2 \times \frac{2\angle AOD}{2\pi} \tag{14}$$

$$AD = R \times \cos \angle AOD \tag{15}$$

综上，

可以解得 S_1 。

至此在计算 $S_{\text{遮蔽}}$ 的过程中有一个变量为单一树冠在不同时刻时的影子长度，而在第一题中有以下结论：

根据三角几何关系，树木的阴影长度 L_s

$$L_s = H \div \tan(\alpha) \tag{20}$$

5.2.6. 树冠受光模型分析

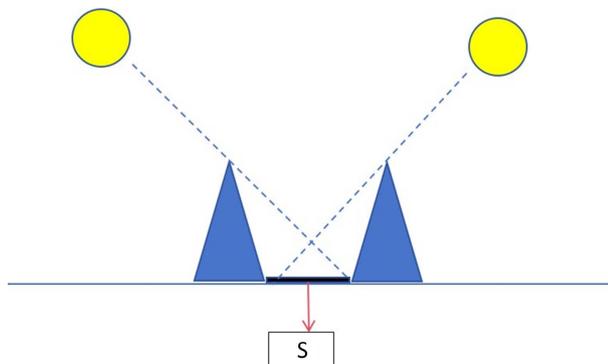


Figure 7. Sunlight Angle diagram under special conditions

图 7. 特殊情况阳光角度图

见图 7，为在特殊情况下，当太阳运行到本土中两颗植被的西侧和东侧时，其所形成的阴影面积图，其中 S 为这两个植被所形成的面积。

结合图 7 与式(13)所以受光情况为

$$\begin{cases} \Omega \text{ 到 } \pi - \Omega \text{ 之间, } 1/2 S_{\text{树冠上表面积}} \\ 0 \text{ 到 } \Omega \text{ 之间, } S_{\text{树冠上表面积}} - Sd \\ \pi - \Omega \text{ 到 } \pi \text{ 之间, } S_{\text{树冠上表面积}} - Sd \end{cases}$$

其中 Ω 是如图 7 所示, 当太阳光与水平面向左为正方向时的夹角, 且此时, 各个树冠的影子都不会投影到其他的树冠上。又由对称性可知, 当夹角为 $\pi - \Omega$ 时, 各个树冠的影子也都不会投影到其他的树冠上。

最后带入附件中的数据, 求得了不同林带行向间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间、季节变化情况。

5.3. 加入角度模型建立与求解

5.3.1. 初步模型建立

使用 MATLAB 函数模拟片林中行列间树木树冠的受光及遮阴情况, 步骤如下:

1、根据地形影响, 坡向为西北, 坡度为 10° 的陕北高原地形来调整太阳高度角。

① 首先, 将太阳的方位角减去坡向角度。

② 其次, 根据坡度和调整后的方位角, 重新计算太阳的高度角。

2、利用公式计算对于每棵树, 阴影的长度和方向角。

3、利用建立坐标的方法, 得出每棵树阴影起点坐标和终点坐标, 检查每棵树是否在其他树的阴影内。

4、计算每小时的遮阴情况。

5.3.2. 举例分析

例如, 对于某天中午, 在大约 35°N 的纬度时, 太阳的高度角为 78.45° , 方位角为 180° , 由于坡度为 10° , 坡向为西北, 经过地形调整后, 太阳的高度角为 71.38° , 方位角为 172.93° 。

计算每棵树的阴影长度和方向的函数。阴影长度可以使用简单的三角函数来计算, 具体公式为:

$$L_s = H \div \tan(\alpha)$$

阴影方向与太阳的方位角一致。

所以, 对于高度为 7 米的树, 当太阳的高度角为 71.38° , 方位角为 172.93° 时, 其阴影长度约为 2.36 米, 方向为 172.93° 。

考虑树冠的遮阴情况, 利用函数确定其他树的阴影是否落在特定的树上。

① 对于每棵树, 建立坐标, 确定其阴影的起点和终点坐标。

② 查其他树的坐标是否在这些坐标之间。

对于坐标为(6, 6)的树, 其阴影的起点为(6, 6), 终点为(6.29, 3.66), 它不在由起点(6, 6)和终点(6.29, 3.66)定义的阴影内, 故该点不受到遮阴。

5.3.3. 程序分析

考虑到坡向和坡度对太阳的高度角和方位角的影响:

调整阴影长度:

对于阴影长度, 考虑到坡度, 实际阴影长度会受到坡度的影响。假设在平面上的阴影长度为 L 在坡上的长度为 L' , 那么:

$$L' = L \times \cos(\beta)$$

其中 β 是坡度。

调整阴影方向：

由于坡向，阴影的方向可能会有所变化，但这个影响通常比较小，除非坡度很大。可以假设阴影方向不变，或只是略微改变。

5.4. 最优规划模型建立与求解

5.4.1. 确定核桃树生长条件

① 延安地区适合种植疏散分层形树型的核桃树。延安地区属于温带大陆性气候，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，适宜核桃树生长。核桃树对光照要求较高，疏散分层形树形可以增加树冠表面积，提供更多的光照，有利于核桃树的生长和果实的形成。同时，延安地区土壤肥沃，有利于核桃树的根系生长和吸收养分[3]。

② 核桃树的适宜栽植密度和行距受到多个因素的影响，包括土壤类型、气候条件、降水情况、树龄等：

I土壤类型：核桃树适宜生长于疏松、肥沃、排水良好的土壤中。在延安地区，砂质壤土、壤土和黄土等土壤类型较为常见，土壤肥力指数为 0.7，适宜栽植核桃树。

II气候条件：延安地区属于温带大陆性气候，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，年平均日照时长 9 小时。核桃树对充足的阳光和温暖的气候有较高的要求，因此在延安地区，适宜选择较为阳光充足、气温适中的地块进行栽植。

III降水情况：核桃树对水分的需求较高，但也要求排水良好，避免积水。在延安地区，年平均降水量较为适中，一般在 600 毫米左右，适宜栽植核桃树。

5.4.2. 建立核桃生长模型

首先定义一个函数，对日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小五个生长因素进行权重分布，分别为 0.4、0.3、0.2、0.05、0.05，评估核桃的生长得分；其次依据延安平均日照时数 9 小时、年均降水量 600 毫米、黄土土壤肥力指数 0.7，使用双重 for 循环探索不同的树冠大小和株行距下的核桃生长得分；最后使用 if 语句寻找核桃的最高生长得分，从而确定核桃林的最佳株行距和树冠大小。

模型结果：最佳株行距为：6 m；最佳树冠大小为：25 m²。

5.4.3. 模型结果与分析

栽植株行距：根据延安的土壤肥力和水分状况，由代码运行得到，延安核桃林的最佳栽种行距为 6 米，这样可以确保每棵核桃树有足够的生长空间和养分供应，避免过度竞争，保证树冠的充分发展，同时也方便管理和采摘。

树冠大小：由代码运行得到，延安核桃林的最佳树冠大小为 25 m²。通过以下方法，可以控制树冠大小：

① 在树龄较小的时候，进行适当修剪树冠，通过剪除过长或交叉的枝条、削减树冠边缘的枝条等方式来控制树冠的大小和形状，促进树木的分枝和侧枝的生长。

② 根据核桃树的生长特点和延安的气候条件，可以采用疏散分层形树形种植，即圆锥形树冠，来提高光合作用效率和空气流通性，促进树木的健康生长，并减少树冠的密度和大小。

树型结构管护：圆锥形树冠有助于充分吸收阳光，并保持内部空气流通，减少病虫害。有以下 5 点建议：

① 定期修剪内部的过密枝条，确保阳光能照到树冠的每一部分，保持树木的良好通风和适度遮荫。

② 清除树冠内的死枝和病枝，以减少病虫害的发生，保持土壤的湿润和肥力。

③ 监控树冠的生长，确保它保持圆锥形状，可以考虑每年都进行一次修剪。

④ 在山区,为控制水土流失,应先从治理沟坡的生物入手,再辅以田间工程;为蓄水保墒保肥,每年秋末或初春,对山坡荒芜核桃树,沿树冠下方外缘修筑弧形土埂[2]。

⑤ 树干支撑:对于生长不稳定的树木,可以使用支撑杆或绑扎材料等方式来支撑树干,防止树木倾斜或折断。

为了获得最佳经济效益,可以采取适当的密植和间作模式,提高土地的利用效率。黄土坡地土壤养分状况较差,经过核桃经济林建设及间作作物后,能对有机质积累、速效养分的保持起到不同程度的改善,以核桃大豆间作表层土最为明显。

总之,根据延安的地理位置、气候、土壤和地形特点,合理安排圆锥形树冠的核桃林的栽植株行距、树冠大小和树型结构管护,可以提高核桃树的生长和经济效益。

6. 模型具体分析

资料显示,延安地区核桃树的行距一般为6~8米,树冠直径在6~8米左右,树冠高度在4~6米左右。核桃生长模型的最佳行距为6米,树冠大小为 25 m^2 ,符合实际情况,模型准确。

根据片林中行列间树木树冠的受光及遮阴而形成阴影随时间,季节变化情况模拟结果,在中午时, 10×10 的树木网格中没有任何树木被其他树木的阴影所遮挡。因为在夏至的中午,太阳的高度角很高,所以树木的阴影长度很短,不太可能落在其他树木上。此外,西北坡向意味着在冬季,由于太阳主要在南方,林地的受光情况会较差,夏季则较好。

东侧林带:早晨太阳升起时,东侧的林带会受到较多的阳光照射,形成较长的阴影。随着太阳的升高,阴影逐渐减少,直到中午时几乎没有阴影。下午,太阳开始向西方倾斜,东侧林带的树冠开始形成较长的阴影。西侧林带:早晨太阳升起时,西侧的林带会受到较少的阳光照射,形成较短的阴影。随着太阳的升高,阴影逐渐增加,直到中午时形成最长的阴影。下午,太阳开始向西方倾斜,西侧林带的树冠的阴影逐渐减少。

在片林中,行列间树木树冠的受光和遮阴情况也会随时间和季节的变化而有所不同。在行向上,树木的树冠会投射出较长的阴影。早晨和傍晚时,阴影较长;中午时,阴影较短;在列向上,树木的树冠会投射出较宽的阴影。早晨和傍晚时,阴影较窄;中午时,阴影较宽。在坡向为西北,坡度为 10° 的地形上,树木的树冠受光和遮阴情况会受到地形的影响在上坡侧的树木树冠会投射出较长的阴影。由于坡度较大,太阳的高度变化会导致阴影的长度和位置发生较大变化。在下坡侧的树木树冠会投射出较短的阴影。由于坡度较小,太阳的高度变化对阴影的长度和位置影响较小。

7. 模型评价与展望

7.1. 模型优点

太阳高度角和方位角模型可以通过输入不同的日期和时间来模拟核桃树在不同季节和一天中不同时间的阴影长度和方向,从而了解树冠的受光和遮阴情况。

核桃生长模型可以输入各地的日照时长、平均降水量和土壤肥力,按照植株生长的实际情况分配日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小五个生长因素权重比例,探索不同的树冠大小和株行距,寻找最优树冠大小和株行距。

7.2. 模型缺点

核桃树生长模型仅是一个假设简化模型,树冠大小和树型结构管护需要基于详细的农业研究和经验。具体的栽植密度和行距还应根据实际情况进行调整,并结合农艺措施进行管理;具体的栽植行距还

需要根据土壤肥力、排水情况、树龄等因素进行适当调整。

实际的问题可能需要更多的细节和精确的建模。此外，可能还需要其他的物理和数学知识，例如考虑太阳的不同角度导致的光的衰减，树冠的不规则形状等。

7.3. 模型推广和改进

本文较完整的分析了核桃树栽植方式与最优光照分布问题，综合考虑了多种可能对树木树冠的受光影响因素和影响情况，利用对日照时数、降水量、土壤肥力、株行距、树冠大小五个生长因素进行权重分布，其次依据延安平均日照时数、年均降水量、黄土土壤肥力指数，提供了最佳株行距和最佳树冠大小的核桃生长模型设计。本文可以帮助建立最优光照生长模型，通过几何分析和代码运算设计出最优生长模型，能更好的推进延安林业发展，因而对实际生产有借鉴意义。

核桃生长模型仅是一个简化模型，而在实际运用过程中，会有更多的因素影响，具体的栽植密度和行距还应根据实际情况进行调整，并结合农艺措施进行管理，还需要根据土壤肥力、排水情况、树龄等因素进行适当调整，可以以此模型为基础进行具体调整改进。

参考文献

- [1] 黄晓东, 王玉洁, 石恒华, 等. 树木树冠阴影面积与种植间距的编程计算分析研究[J]. 北京农学院学报, 2013, 28(1): 50-52.
- [2] 邱梅. 黄土坡地核桃林不同间作模式土壤养分及酶活性研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- [3] 路跃琴. 核桃低产林改造技术[J]. 现代农业科技, 2015(8): 116-117.