

文章编号:1673-9469(2011)02-0091-05

## 丘陵区果园篱壁栽植行向与冠间距研究

刘永朝

(河北工程大学 水电学院,河北 邯郸 056021)

**摘要:**在丘陵区篱壁栽植的果园中,行向随坡向而变化,为了满足一定的光照条件,树冠间距也因地面坡度而不同。本文利用天文三角公式计算北纬40°地区春、秋分点太阳在不同时刻的位置,同时计算树体的影长,并确定其影长系数,依太阳方位角与影长系数的关系绘出影顶线图。然后根据设计的行向,利用影顶线图求得在不同地面坡度情况下的树冠间距。其中南坡、南北行向时,树冠间距应为  $d = h \cdot \operatorname{ctga} \cdot \sin A \cdot \cos i$ ; 东坡~北东(NE)45°范围坡向、南北行~南东(SE)45°行向时,  $d = d_1 - \Delta d = h \cdot \cos A_1 \cdot (\operatorname{tg} t_2 - \operatorname{tg} t_1) / [1 + \operatorname{tgi} \cdot \operatorname{ctga}_2 \cdot \sin(A_2 - A_1)] \cdot \cos \varphi$ 。算例结果验证了模型的可行性。

**关键词:**丘陵区;篱式果园;冠间距;行向;坡向;坡度

中图分类号:S66

文献标识码:A

## Research on the orientation of row and crown span in the hedgerow orchard of hills area

LIU Yong-chao

(College of Mechanical and Electric Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056021, China)

**Abstract:** In the hedgerow orchard of hills area, the orientation of row changes with the direction of slope and the crown span also changes with gradient to meet the requirement of sunshine. In this paper, the solar locations of different time are calculated by astronomical triangle formula in vernal and autumnal equinox of the 40°N area, and the shadow length of the tree body and its coefficient of shadow length are also calculated at the same time. The diagram of tie line at top of shadow is drawn based on the relationship between sun azimuth angle and the coefficient of the shadow length. Then the crown span in the condition of different grade on the ground can be obtained by using the diagram of tie line at top of shadow in two rows of hedges according to the two kinds of designed row direction. When the seedlings are in south-north rows on the south slope, the crown span is  $d = h \cdot \operatorname{ctga} \cdot \sin A \cdot \cos i$ ; and when the row direction is between SN direction and 45°SE and the aspect between 0°E and 45°NE, the crown span is  $d = d_1 - \Delta d = h \cdot \cos A_1 \cdot (\operatorname{tg} t_2 - \operatorname{tg} t_1) / [1 + \operatorname{tgi} \cdot \operatorname{ctga}_2 \cdot \sin(A_2 - A_1)] \cdot \cos \varphi$ . The example results show that the models are feasible.

**Key words:** hilly area; hedgerow orchard; crown span; row direction; aspect; gradient

山地栽培果树有许多平地所没有的优点,例如实色泽品质好,耐贮藏,树体健壮,寿命长等,已为生产实践所证实<sup>[1]</sup>。因此,山地是我国建立新果园,发展果树的广大基地。二十世纪世界各地研究表明<sup>[2-3]</sup>,密植的树篱形树冠是一种较好的

栽培形式。果树生长结果与光照又有密切联系。Cain<sup>[4]</sup>在篱式果园中研究证明,为保证苹果的花芽分化,最少需要30%的日光辐射,苹果结果器官正常执行机能需3.0~3.5h的直射光照;АгафОНОВ<sup>[5]</sup>研究认为,为保证正常生长结果,整

个生长季节内苹果树的结果部位应得到  $125604\text{J}/\text{cm}^2$  光能,在北纬  $56^\circ$  的莫斯科地区 7 月份,每天应保证有 3h 的直射光。乔木果树接受光能的数量决定着果树的生长及果实的产量和质量<sup>[6]</sup>。

如何利用丘陵区因地制宜的建立新果园是一个值得重视的问题。丘陵地与平原地以及丘陵区内部,在地形、地貌、气候条件等方面是不相同的。在建园时为了减少盲目性,本文就在丘陵区不同的坡向、坡度情况下如何确定篱壁栽植行向与树冠间距进行了理论上的分析和研究,为丘陵区篱式果园的建立提供必要的理论依据。

## 1 基本原理与方法

由天文三角<sup>[7]</sup>知

$$\sin A = \sin t \cdot \cos \delta / \cos \alpha \quad (1)$$

$$\sin \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (2)$$

其中,  $A$  - 太阳方位角,  $\alpha$  - 太阳高度角,  $\delta$  - 太阳赤纬,  $t$  - 时角,  $\varphi$  - 地理纬度。

如果将树体简化为一直立杆,设直立杆高为  $h$ ,其影长为  $L$ 。在太阳高度角  $\alpha$  一定的情况下,有  $L = h \cdot \text{ctg} \alpha$ ,而随着太阳高度角变化的影长系数  $\gamma$  为

$$\gamma = \text{ctg} \alpha = L/h \quad (3)$$

利用极坐标法依  $A \sim \gamma$  关系定点,即为某日各时刻阴影线的顶点,所有阴影线顶点的连线,这里称之为影顶线。

## 2 设计

### 2.1 地面坡度与坡向

斜坡是构成山坡和丘陵地的基本单位。德拉加夫采夫则将斜坡简化为四级,即  $5^\circ$  以下为缓坡,  $5^\circ \sim 20^\circ$  为斜坡,  $20^\circ \sim 45^\circ$  为陡坡,  $45^\circ$  以上为峻坡;并确定  $5^\circ \sim 20^\circ$  的斜坡是发展果树的良好地段,也是山地最具有代表性的坡度。在我国的情况下,缓坡宜种粮棉作物,陡坡和峻坡宜多造林。因此,一般如能确定  $5^\circ \sim 20^\circ$  斜坡上果树栽培的农业技术,在生产上颇具现实意义。

取以下 2 种情况的坡向进行分析:(1)南坡;(2)北东(NE) $67.37^\circ$ 。

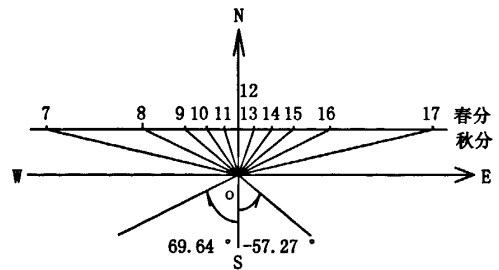


图1  $40^\circ\text{N}$ 地区春、秋分点影顶线图

Fig.1 Diagram of the tie line at top of shadow in vernal and autumnal equinox of the  $40^\circ\text{N}$  area

### 2.2 地理纬度与季节

选择  $40^\circ\text{N}$  进行分析,研究季节为果树生长季节中的春分到夏至、夏至到秋分。

### 2.3 树冠断面

为研究方便,树冠横断面采用矩形断面。

## 3 计算与分析

### 3.1 影顶线图的绘制

按照式(1)、式(3)计算北纬  $40^\circ$  地区直立杆在春、秋分点不同时刻的  $A$  和  $\gamma$  值。在一年之中的春、秋分点,太阳赤纬  $\delta = 0^\circ$ ,  $\varphi = 40^\circ$  代入天文三角公式得  $\sin \alpha = 0.766 \cos t$ ,  $\sin A = \sin t / \cos \alpha$ ,从而可求得在春、秋分点这一日各时刻的太阳高度角、太阳方位角的值以及对应的影长系数。

以直立杆为中心,确定出东西南北方向线。太阳方位角以南为零点,向西为正,向东为负。直立杆高度取 1 个单位(或 1cm)。依表 1 中所列  $A \sim \gamma$  相关数据,绘出  $40^\circ\text{N}$  春、秋分点的影顶线图(图 1)。水平线上的数字(7、8、……、17 等)为真太阳时。由图 1 可以看出,在春、秋分点时的影顶线为一平行于东西(E、W)方向的水平线,即在  $40^\circ\text{N}$  春、秋分点时单位高度直立杆在一日内阴影的轨迹。作图过程如下:

步骤 1 依 7h 到 17h 对应的  $A$  和  $\gamma$  值用极坐标法定点,如 12h,  $A = 0^\circ$ ,  $\gamma = 0.84$ ; 9h,  $A = -57.27^\circ$ ,  $\gamma = 1.55$ ,这些点反映了某一时刻单位高度直立杆的影子方向和长度。

步骤 2 将各点依次连线。

### 3.2 不同坡向行向的确定

在我国地理纬度条件下,特别是中、高纬度地

区,行向尽量偏向于南北行,有利于通风透光,使树篱两侧都得到尽可能多的直射光照时间,充分地利用太阳光能。因此,丘陵区确定行向的原则如下:

(1)南坡与北坡的行向应通常采用与坡向平行的南北行;

(2)东坡与西坡的行向应采用与坡向垂直的南北行;

(3)对于其他任意行向,若坡向偏向南坡或北坡,则采用与坡向平行的行向;若坡向偏向东坡或西坡,则采用与坡向垂直的行向。

根据上述行向确定的原则,设计丘陵区的两种坡向的行向为:

(1)南坡时,行向采用与坡向平行的南北行;

(2)北东(NE)67.37°坡向时,坡向偏向东坡,行向采用与坡向垂直的南东(SE)22.63°行向。

### 3.3 南坡树冠间距的确定

南坡南北行向树冠间距的分析见图 2,其中①、②、③线代表树篱,过 O 点的①线为南北向,②、③线过影顶线上的 B(9h)、C(15h)两点,且  $BM = MC$ 。

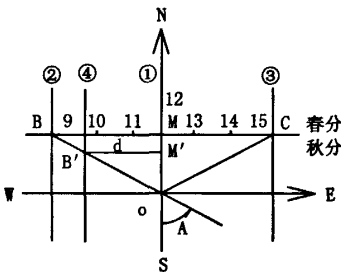


图2 南坡南北行树冠间距分析图

Fig.2 Analytical figures of the crown span in the direction of south slope and the orientation of row from S to N

当①、②线组合时,线①表示树篱一侧树冠的顶部(与②对应),线②表示树篱一侧树冠(与①对应)的基部(与①对应),由图中可知 B 点已满足了中午前 3h 的直射光照(9~12h 的影顶线在①②行之间);当①、③线组合时,线①表示树篱另一侧树冠的顶部(与③对应),线③表示树篱的一侧树冠的基部(与①对应),且 C 点又满足了中午后 3h 的直射光照时间(12~15h 的影顶线在①、③行之间)。在整个果园中,②线与③线也代表了一行树篱的两个受光侧面。

对于南北行因中午前后树篱两侧受光时间相

同且具有对称性,所以确定树冠间距可在一侧进行分析。设在 O 点的树冠高度为  $h$ ,上午 9h 的太阳高度角为  $\alpha$ 、方位角的绝对值为  $A$ ,那么在②行树篱的 B 点,树冠高度  $h$  的影长  $L = OB = h \cdot \text{ctg}\alpha$ 。又  $\angle MOB = A$ ,那么这时两行树篱之间的冠间距  $d_1 = BM = L \cdot \sin \angle MOB = h \cdot \sin A \cdot \text{ctg}\alpha$ 。

当地面南坡坡度为  $i$  时,②行树篱的 B 点(树冠侧面的基部)要得到上述光线的照射,应移动到 B' 点,同时也反映了②行树篱将平移到④行,这时的树冠间距应为  $d$ 。

在图 2 中,  $d = B'M'$ ,  $OM = L \cdot \cos A$ ,而  $OM' = OM \cdot \cos i$ ,所以  $B'M' = OM' \cdot \text{tg}A = L \cdot \cos A \cdot \cos i \cdot \text{tg}A = L \cdot \sin A \cdot \cos i$ ,所以  $d = h \cdot \sin A \cdot \cos i \cdot \text{ctg}\alpha$ 。

如果令  $K_1 = d/d_1$ ,则有

$$k_1 = h \cdot \sin A \cdot \cos i \cdot \text{ctg}\alpha / h \cdot \sin A \cdot \text{ctg}\alpha = \cos i \quad (4)$$

式(4)说明当有坡度  $i$  时,为了使②行树篱的树冠基部的 B 点得到与水平情况相同的光照时间,树冠间距  $d$  的值应为水平情况下设计的冠间距  $d_1$  乘上系数  $k_1$ ,即

$$d = K_1 d_1 = d_1 \cdot \cos i \quad (5)$$

因在一年之中的春、秋分点太阳赤纬  $\delta = 0^\circ$ ,由式(4)、(5)可知,在春、秋分点时的影顶线为一平行于东西(EW)方向的水平线,所以上述公式也适用与其他纬度地区。

### 3.4 北东 67.37°坡向树冠间距的确定

以北东(NE)67.37°坡向,南东(SE)22.63°行向进行分析。由表 1 知,这时的行向为 40°N 春、秋分点上午 11h 的太阳方位角的方向,用  $A_1$  表示(图 3)。沿此方向作一直线①,并作平行线②、③,且 BC 与 CD 相等,①、②、③线分别代表树篱。当①、②线组合时,线①表示树篱一侧树冠的顶部(与②对应),线②表示树篱一侧树冠的基部(与①对应,图 3 中的 B 点);当①、③线组合时,线①表示树篱另一侧树冠的顶部(与③对应),线③表示树篱一侧树冠的基部(与①对应,图 3 中的 F 点)。与前分析相同,在整个果园中,②线与③线也代表了一行树篱的两个受光侧面。

为了满足果树成长、结果的需要,树冠基部在中午前后应满足 3h 以上的直射光照。那么在春、秋分点的影顶线上,树篱②应通过上午 8h(此时方位角用  $A_2$  表示)的点,即图中的 B 点,这时②行树篱一侧树冠的基部已满足了 3h 的直射光照。以

B点作垂直于①、③线的直线分别相交与M、F两点,且B-M-F方向与坡向一致。

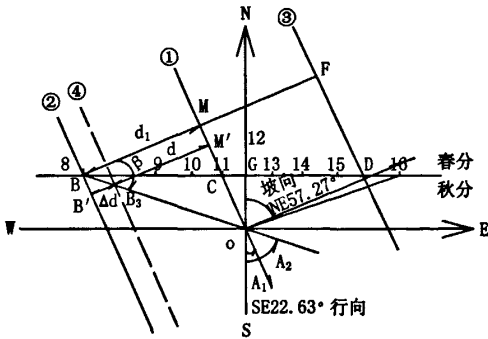


图3 NE67.37°坡向、SE22.63°行向树冠间距分析图  
Fig.3 Analytical figures of the crown span in the direction slope of NE67.37° and the orientation row of SE22.67°

在直角△BMC和直角△BGO中(图3),设BC=b, BM=d<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>M'=d, ∠CBM=∠COG=A<sub>1</sub>, ∠BOG=A<sub>2</sub>(A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>计算时取绝对值)。那么,根据式(1)、式(2)得,当太阳赤纬δ=0°时

$$\sin A_1 = \sin i_1 / \cos \alpha_1 \tag{6}$$

$$\sin \alpha_1 = \cos \varphi \cdot \cos t_1 \tag{7}$$

$$\sin A_2 = \sin t_2 / \cos \alpha_2 \tag{8}$$

$$\sin \alpha_2 = \cos \varphi \cdot \cos t_2 \tag{9}$$

在行向树冠间距立体分析图中(图4),设树冠高度为h,则

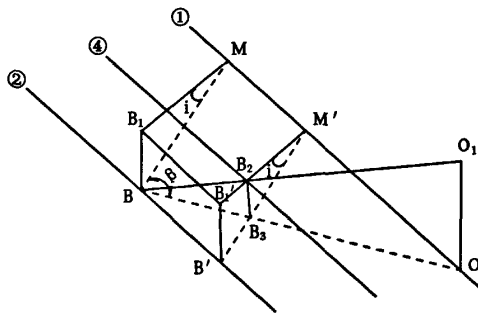


图4 NE67.37°坡向、SE22.63°行向树冠间距立体分析图  
Fig.4 Stereo analytical figures of the crown span in the direction slope of NE67.37° and the orientation row of SE22.67°

$$OC = h \cdot \text{ctg} \alpha_1$$

$$OB = h \cdot \text{ctg} \alpha_2$$

所以

$$BG = OB \cdot \sin A_2 = h \cdot \sin A_2 \cdot \text{ctg} \alpha_2 \tag{10}$$

$$CG = OC \cdot \sin A_1 = h \cdot \sin A_1 \cdot \text{ctg} \alpha_1 \tag{11}$$

由式(10)、(11)得

$$b = BC = BG - CG = h \cdot \sin A_2 \text{ctg} \alpha_2 - h \cdot \sin A_1 \text{ctg} \alpha_1 \cdot h \cdot (\text{tg} t_2 - \text{tg} t_1) / \cos \varphi$$

$$d_1 = b \cdot \cos A_1 = h \cdot (\text{tg} t_2 - \text{tg} t_1) \cdot \cos A_1 / \cos \varphi \tag{12}$$

当沿BM方向有坡度i时,②行树冠底部的B点将上升到B<sub>1</sub>点(图4),光线O<sub>1</sub>B则无法照射到B<sub>1</sub>点。因此B点应沿光线O<sub>1</sub>B上移到平面B<sub>1</sub>M'B平移后的平面B<sub>1</sub>M'B与平面O<sub>1</sub>BO交线上的点B<sub>2</sub>。因此

$$BB_3 = (BM' - B_3B') \cdot BB_1 \cdot OB / BM' \cdot OO_1$$

$$\angle OBM = 90^\circ + A_1 - A_2$$

$$\text{设 } \Delta d = B_3B', \text{ 则 } \Delta d = (d_1 - \Delta d) \cdot d_1 \cdot \text{tg} i \cdot h \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \cos \beta / h \cdot d_1$$

$$\text{即 } \Delta d = d_1 \cdot \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \cos \beta / (1 + \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \cos \beta)$$

将式(12)代入,得

$$\Delta d = h \cdot (\text{tg} t_2 - \text{tg} t_1) \cdot \cos A_1 \cdot \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \cos \beta / (1 + \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \cos \beta) \cos \varphi$$

$$\text{因此, } d = d_1 - \Delta d = h \cdot \cos A_1 \cdot (\text{tg} t_2 - \text{tg} t_1) / [1 + \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \sin(A_2 - A_1)] \tag{13}$$

设BM方向上,有坡度i时树冠间距d与没有坡度时树冠间距d<sub>1</sub>的比值为k<sub>2</sub>,则

$$k_2 = d/d_1 = 1/[1 + \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \sin(A_2 - A_1)] \tag{14}$$

可见当坡度为i时,为了使②行树篱的树冠基部的B点得到与水平情况相同的光照时间,树冠间距d应为d=d<sub>1</sub>·k<sub>2</sub>。

上述是在①②线组合情况下②行树篱的一侧(与①对应)树冠基部的B(或图4中的B<sub>2</sub>)点受光3h确定的树冠间距,反映了树篱的一个侧面受光时间。而当①③线组合时,③行树篱的一侧(与①对应)树冠基部的F点受光时间还未知。但从图3中可知,在②行树篱树冠基部的B点可得到3h的直射光照(8~11h的影顶线在①②行之间);而对于③行树篱树冠基部的F点受光时间为4.4h(11~15.4h影顶线在①③行之间),反映了树篱另一个侧面也满足了3h以上的晒阳时间。需要说明的是,当有坡度i以后,由于F点低于M点,也即③行树篱低于①行树篱,所以F点受光时间随着坡度i的增加将逐渐减少。那么坡度i为何值时F点受光时间小于3h,有待进一步的研究。但可以肯定,对本例类型当i不很大时,依上述方法

确定的  $d$  能使树篱两侧树冠基部每日中午前后保证有 3h 以上的直射光照时间。由上可知, (13)、(14)式也适用与其他纬度地区。

#### 4 算例

在北纬 37°地区, 坡向为 78°NE, 坡度为 8°的丘陵地区建立篱式果园, 设树冠高度  $h = 2\text{m}$ , 树冠横断面初步按矩形考虑, 问行向与树冠间距如何设计?

##### 4.1 树篱行向的确定

由于坡向为 78°NE, 偏向于东坡, 应按垂直于坡向方向设计行向, 那么行向应确定为 12°SE。这时的行向也应为 37°N 春、秋分点上午某时刻太阳方位角的方向  $A_1 = -12^\circ$  (计算时取绝对值为 12°)。

##### 4.2 树冠间距的确定

由式(6)、式(7)得

$$\sin(-12^\circ) = \sin t_1 / \cos \alpha_1$$

$$\sin \alpha_1 = \cos 37^\circ \cdot \cos t$$

$$\text{整理可得 } \sin t_1 = -0.126, t_1 = -7.24^\circ$$

由表 1 知, 时角 1°相当于真太阳时 4 分钟。那么,  $7.24^\circ \times 4 \approx 29$  分钟。由表 1 与图 3 分析得出, 这时的真太阳时为上午 11 时 31 分, 也即为①行树篱所通过的点。

又因一个真太阳时相当于时角 15°, 则三个真太阳时相当于时角 45°。为了在中午前后树冠基部满足 3h 的直射光照, 在影顶线图上②行树篱应通过上午 8 时 31 分的点, 此时的时角为

$$t_2 = t_1 - 45^\circ = -52.24^\circ$$

代入式(8)、式(9)得

$$\alpha_2 = \arcsin 0.49 \approx 29.34^\circ$$

$$A_2 = \arcsin(-0.907) \approx -65^\circ$$

则由式(14)得

$$d = 2 \cdot \cos 12^\circ \cdot [\text{tg } 52.24^\circ - \text{tg } 7.24^\circ] / (1 + 0.2) \cdot \cos 37^\circ \approx 2.38\text{m}$$

因此, 在上述丘陵地区建立篱式果园, 行向应

设计为 12°SE, 树冠间距为 2.38m。

需要说明的是, 在我国的中、低纬度地区, 最适合篱式果园的树冠横断面应为梯形、纺锤形等断面; 而矩形断面适合于较高纬度地区<sup>[8]</sup>, 这里是为了研究方便而已。如果采用梯形、纺锤形等树冠断面, 在同样满足树冠基部光照时间以及相同树冠高度的情况下, 树冠间距的值可以减少。

#### 5 结论

1) 对于南坡与北坡以及偏于南坡与北坡的坡向, 树篱采用与坡向平行的行向; 对于东坡与西坡以及偏于东坡与西坡的坡向, 则采用垂直行向。在 5°~20°斜坡上, 修筑水平梯田进行建园。

2) 丘陵区篱式果园树冠间距确定的数学模式为:  $d = h \cdot \text{ctga} \cdot \sin A \cdot \cos i$  (南坡、南北行向);  $d = d_1 - \Delta d = h \cdot \cos A_1 \cdot (\text{tg} t_2 - \text{tg} t_1) / [1 + \text{tg} i \cdot \text{ctg} \alpha_2 \cdot \sin(A_2 - A_1)] \cdot \cos \varphi$  (东坡~北东 45°范围坡向、南北行~南东 45°行向)。

#### 参考文献:

- [1] 河北农业大学. 果树栽培总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [2] 李正之. 果树矮化密植[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [3] 河北农业大学. 果树栽培总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [4] CAIN J C. The interception of solar radiation by the hedgerow orchard[J]. Ohio State Horticulture Soc, 1973, 12: 31-34.
- [5] АГАФОНОВ Н В. Принципы моделирования оптимальных параметров кроны плодовых деревьев на интенсивных насаждениях, Изв. ТСХА[J], 1976(5): 140-151.
- [6] 陈宾如. 光照强度对苹果树生长、结实和果实品质的影响[J]. 辽宁果树, 1979(3): 37-40.
- [7] 吴伯雄. 气象学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1979.
- [8] 刘永朝. 篱式果园冠高与冠形随纬度变化探讨[J]. 农业工程学报, 2006(7): 214-216.

(责任编辑 马立)