

烟草受遮蔽程度与种植密度的关系研究

刘忠华

中国烟草总公司云南省公司, 云南 昆明

收稿日期: 2021年11月27日; 录用日期: 2021年12月11日; 发布日期: 2021年12月27日

摘要

本文从对投影长度起决定性因素的太阳高度角和方位角出发, 通过编程对假定的试验地点计算了既定时间内的太阳高度角和方位角, 再根据所得太阳高度角和方位角的实时数据分析计算投影长度, 并设计试验模拟了不同种植密度下烟草间的遮蔽情况, 运用T检验从统计学的角度确定了较为适宜的密植密度, 旨在为烟草等经济作物合理种植间距的选择提供参考。

关键词

种植密度, 太阳高度角, 太阳方位角, 投影计算

Study on the Relationship between Shading Degree and Planting Density of Tobacco

Zhonghua Liu

Yunnan Company of China National Tobacco Corporation, Kunming Yunnan

Received: Nov. 27th, 2021; accepted: Dec. 11th, 2021; published: Dec. 27th, 2021

Abstract

Firstly, based on the solar altitude and azimuth, which are the decisive factors for the projection length, the solar altitude and azimuth in the given time are calculated for the assumed test site by programming. Then, according to the real-time data of solar altitude and azimuth, the projection length is analyzed and calculated. Finally, the shielding situation between tobaccos under different planting densities is designed and simulated, and the more suitable dense planting density is determined from the perspective of statistics by using t-test, in order to provide reference for the selection of reasonable planting spacing of economic crops such as tobacco.

Keywords

Planting Density, Solar Altitude, Solar Azimuth, Shadow Calculation



1. 引言

光照是影响烟草生长发育的关键生态因素，对烟草内在质量的形成有很大的影响。烟田的光照分布和光能利用率与植烟密度有着密切的联系。烟田的种植密度较低时，植株间相互遮蔽作用小，光照充足，通风顺畅，个体植株生长发育良好，但群体产量较低；密集的种植则会加重植株间相互遮蔽的程度，减少烟叶的有效受光面积，降低烟田群体光合效能，使得烟株的质量得不到保证[1]。烟草作为云南省广泛种植的经济作物，已经成为多个县区农业经济的第一支柱，以兼顾烤烟质量和烟田效益为目的，对适宜种植密度的研究具有一定的现实意义。

在太阳入射角与种植行株距关系方面的研究，黄晓东等对太阳高度角和方位角进行了编程化求解，根据实时数据和建立的树冠模型计算出了树木在既定时刻不同经纬度的投影面积[2]；李桂祥等在泰安地区以主干形果树为例，综合分析太阳高度角、太阳方位角、树干高度与果树行株距的关系，为果园株行距的合理选择提供了参考[3]。针对云烟 87 适宜种植密度的研究，吴轶凡等[4]、杨雪梅等[5]、张海平等[6]、郑旭川等[7]以云烟 87 为试验材料，在不同试验地点进行了常规种植密度与密植密度下烟叶农艺性状、内在质量等指标的比较试验，提出适宜当地烟区推广的种植密度。在这些研究中，由于不同烟区的气候环境因素不同，比较试验中对种植密度的处理存在差异，最终得出的适宜种植密度也不能完全套用在存在一定气候差异的新烟区。因此本文考虑通过编程对假定的试验地点计算其既定时间内的太阳高度角和方位角，再根据所得太阳高度角和方位角的实时数据分析计算投影长度，并设计试验模拟不同种植密度下烟草间的遮蔽程度，运用 T 检验从统计的角度确定出较为适宜的种植密度，为烟农们在实际的农业生产中提供理论依据。

2. 计算分析

2.1. 太阳赤纬

太阳赤纬常用 δ 表示，是随季节变化的量，可用如下公式进行计算：

$$\delta = 0.3723 + 23.2567 \sin \theta + 0.1149 \sin 2\theta - 0.1712 \sin 3\theta - 0.758 \cos \theta + 0.3656 \cos 2\theta + 0.0201 \cos 3\theta$$

其中， $\theta = 2\pi t / 365.2422$ 被称为日角。 $t = N - N_0$ ， N 为当日在该年排序号，

$$N_0 = 79.6764 + 0.2422 \times (\text{year} - 1985) - \text{int}((\text{year} - 1985) / 4)。$$

2.2. 太阳高度角

太阳高度角常用 α 表示，是指对于地球上某个观测点，太阳光的入射方向和地平面之间的夹角，即某地太阳光线与该地作垂直于地心的地表切线的夹角。太阳高度角决定了太阳辐射强度的大小，计算公式如下：

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \Omega$$

其中， δ 为太阳赤纬， φ 为观测点的纬度， Ω 为地方时角。

2.3. 太阳方位角

太阳方位角常用 β 表示，是以观测点的北方作为起始方向，以太阳光的入射方向为终止方向，按顺

时针测量出的角度。中国区域内的太阳方位角范围为 $90^{\circ}\sim 270^{\circ}$ ，具体的计算公式如下：

$$\cos \beta = (\sin \alpha \sin \varphi - \sin \delta) / \cos \alpha \cos \varphi$$

其中， δ 为太阳赤纬， φ 为观测点的纬度， α 为太阳高度角。

2.4. 投影计算

如图 1 所示，以圆柱体为例，结合俯视图和侧视图两个视角，通过太阳高度角 α 、太阳方位角 β 定义太阳位置模拟太阳射线，计算投影。假设 B 为一株烟草，A 为可能会对 B 造成一定遮蔽的烟草(障碍物)，从侧视图中可以看出，A 对 B 的投影高度可以根据太阳高度角 α ，株距 $dist$ ，入射点(太阳射线与障碍物的交点)的高度 h 进行计算，计算公式如下：

$$h_{shadow} = h - dist * \tan \alpha$$

依据此公式，通过编程可计算出不同结构障碍物对任意地点的投影高度；当障碍物不唯一时，可分别计算不同障碍物对待测点的投影高度后取最大值作为最终的投影高度。对于任意给定的 3D 点，我们可以通过计算其地面位置(X-Y 值)对应的投影高度，并与其 Z 坐标比较判断出该点是否处于阴影中。

此外，我们还可以根据太阳高度角 α ，入射点高度 h 计算出障碍物 A 投影到地面的长度，计算公式如下：

$$L_{shadow} = h / \tan \alpha$$

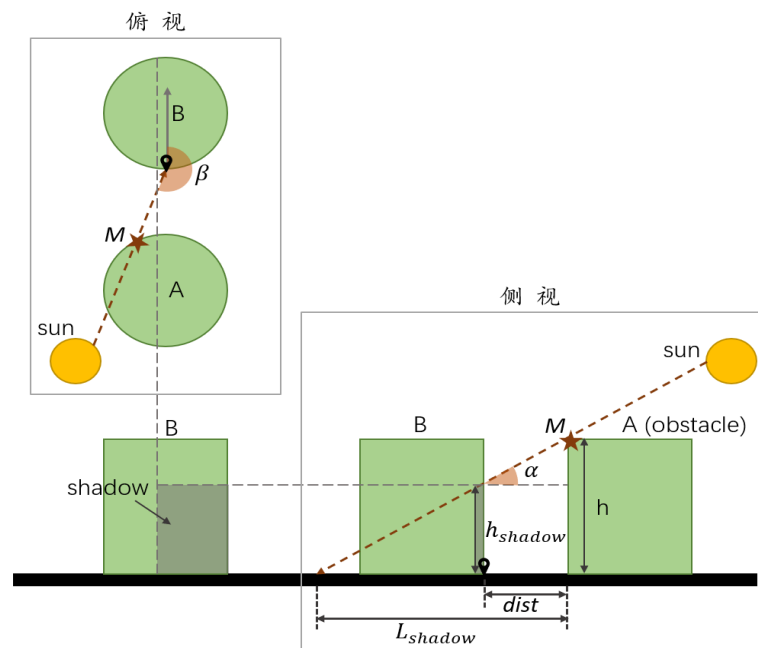


Figure 1. Diagram of shadow calculation
图 1. 投影计算示例图

3. 试验模拟

3.1. 试验地点

本文选择云南省曲靖市宣威市羊场镇茨营村作为模拟的试验地点。羊场镇地处宣威市东南部，多年平均气温 13.7°C ，年平均降水量 971.1 mm ，主要经济作物有烤烟、中药材、花卉、蔬菜等。通过高德地

图的开放平台查询到羊场镇茨营村的经纬度为 104.34923, 25.993058, 运用 Python 计算出该地 2021 年全年整点的太阳高度角和太阳方位角, 部分结果如表 1 所示。

Table 1. The calculation results of solar altitude and solar azimuth
表 1. 太阳高度角和方位角计算结果

时间	太阳高度角	太阳方位角
2021-01-01 00:00:00	-74.74612	277.6938
2021-01-01 01:00:00	-86.74586	335.5498
...
2021-01-01 11:00:00	32.31929	145.3045
2021-01-01 12:00:00	38.49635	160.4691
....
2021-12-30 22:00:00	-48.01315	263.6012
2021-12-30 23:00:00	-61.45554	268.9681

从光照时长来说, 为保证烟草正常的生长发育, 烟区的全年日照时长需大于 2000 h。根据上述所求的太阳高度角和方位角, 运用 R 统计得出羊场镇茨营村 2021 年全年的可能日照时间(全天无云时应有的日照时数)为 4437 h, 再查阅资料得知宣威市多年日照百分率为 47%。由此可以估算出清水塘 2021 年全年的日照时长约为 2085.39 h, 满足了烟草对于光照时长的需求。另外, 当地的阳光透射率高、漫射光多、短波光线强, 有利于提高烟株的光合效率, 利于成熟期干物质的积累转化。综上, 将羊场镇茨营村作为模拟种植烟草的试验地点较为适宜。

3.2. 试验烟草

本文选择云烟 87 作为模拟的试验烟草品种, 云烟 87 是云南省烟草科学研究所、中国烟草育种研究(南方)中心以云烟 2 号为母本, K326 为父本杂交, 经系谱选育而成。作为云南烟草的主栽品种之一, 云烟 87 的主要农艺性状变异系数小, 具有优质、稳产、适应性广、抗病力强等特点。

云烟 87 通常呈塔形, 打顶后近似筒形, 自然株高约 178~185 cm, 打顶后的株高约 110~118 cm, 大田着生叶数 25~27 片, 有效叶数 20~21 片, 腰叶长 73~82 cm, 宽 28~34 cm。茎叶角度中, 着生叶均匀, 节距 5.5~6.5 cm, 下部节距较 K326 稀, 由于自身的生长特点, 中下部烟叶光照不会被过度削弱, 有利于田间通风透光, 可以考虑适当密植。云烟 87 在云南种植适宜的移栽期为 4 月下旬至 5 月中旬, 大田生育期 110~115 d, 移栽至中心花开放约 60 d, 成熟期 50~55 d, 田间生长整齐[8]。

3.3. 试验时间

烟草作为喜光植物, 光照时长是影响烤烟内在品质的关键气象因素, 为保证烟草的良好生长, 大田生长期的总日照时长需大于 500 h, 移栽到旺长期适宜的日照时长为 200~300 h, 成熟期为 280~400 h, 其中成熟期的日照时长对烤烟品质的影响尤为突出, 成熟期日照时长的减少会弱化烟草的风格特色, 导致烟叶致香物质总量减少, 香气质变差, 烟叶品质下降。本文结合云烟 87 的农艺性状, 将模拟试验中烟草的移栽日期设定 2021 年 4 月 20 日, 烟草大田生育期共为 110 d, 其中还苗伸根期 25 d、旺长期 35 d、成熟期 50 d。运用 R 估算了模拟试验田大田期各阶段的日照时长, 结果如下表 2 所示。

Table 2. The sunshine duration in the field period
表 2. 大田期日照时长统计

大田期	时间	日照时长
还苗伸根期	2021/04/20~2021/05/24	216 h
旺长期	2021/05/24~2021/06/18	153 h
成熟期	2021/06/19~2021/08/08	306 h

从表中可以看出，将移栽日期设定 2021 年 4 月 20 日估算出的大田期总日照时长为 675 h，成熟期的日照时长达 306 h，能较好的保障烟草在生长发育过程中对于日照时长的需求。

3.4. 模拟烟草

为了便于烤烟的分级工作，通常会依据烟叶的着生部位、生长位置、外观特征等把烟叶自下而上为三个部位。如下图 2 所示，下部烟叶包括脚叶和下二棚(标准代号 X)，腰叶为中部烟叶(标准代号 C)，上部烟叶包括上二棚和顶叶(标准代号 B)。



Figure 2. Division of tobacco position
图 2. 烟草部位划分图

正常生产状况下，同部位的烟叶具有相似的物理特性和内在质量，由此本文结合云烟 87 的外观特征，选择用三个高分别为 44、27、44 cm，半径分别为 38、35、26 cm 的圆柱体模拟打顶后的烟株下、中、上三个部位，如图 3 所示。

3.5. 障碍模拟

在考虑通过适度增加种植密度来提高烟田的效益时，我们通常会首先关心一株烟草是否会由于周围烟草的遮蔽而无法为其正常生长发育对于光照的基本需求。因此，在模拟试验中，假设试验田为南北行向，对于任意一株烟草我们将其左右两侧相邻行的五株烟草以及前后相邻的烟草视为可能对此株烟草造成遮蔽的障碍物，如图 4 所示。

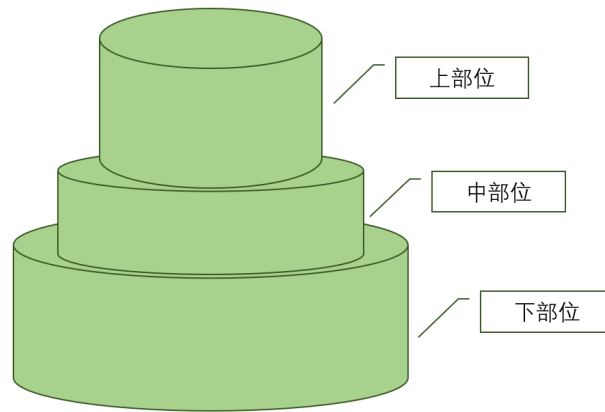


Figure 3. Tobacco simulation
图 3. 模拟烟草

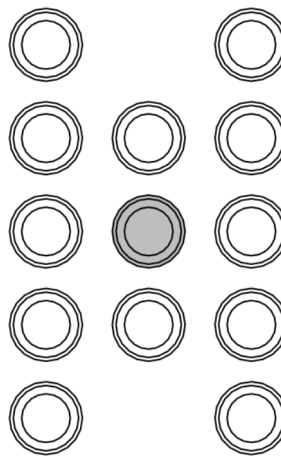


Figure 4. Obstacle simulation
图 4. 障碍物模拟

将行距株距设定为 110 cm、40 cm，模拟障碍物在 2021 年 6 月 20 日投射到地面的阴影足迹如图 5 所示，从左至右的时间为 10:00、12:00、16:00。

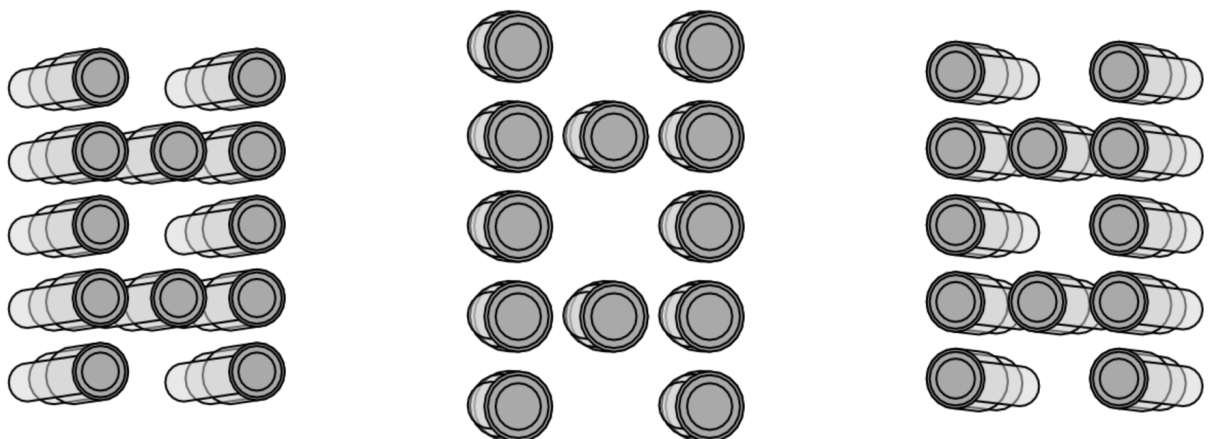


Figure 5. The footprint change of shadow
图 5. 阴影足迹变化情况

3.6. 投影模拟

对于一株烟草在实际生长过程中可能受到遮蔽程度问题的研究，本文将其近似等价于研究烟草模拟模型表面处于障碍物投影中的占比问题。首先运用 R 语言的 `surfaceGrid` 函数帮助生成烟草模型表面网格的 3D 点坐标，然后运用投影高度的计算公式通过编程依次计算判断这些 3D 点是否位于障碍物的投影中，最后用位于投影中的点在网格点层中的占比代表烟草受到遮蔽的程度。将时间设定为 2021 年 6 月 20 日 10:00 点，假设试验田烟株种植的行距为 110 cm，株距为 50 cm，一株成熟期打顶后烟草受到周围障碍物遮蔽的情况如图 6 所示，其中绿色的点代表未受到遮蔽的烟草表面，灰色的点代表位于投影中的点。

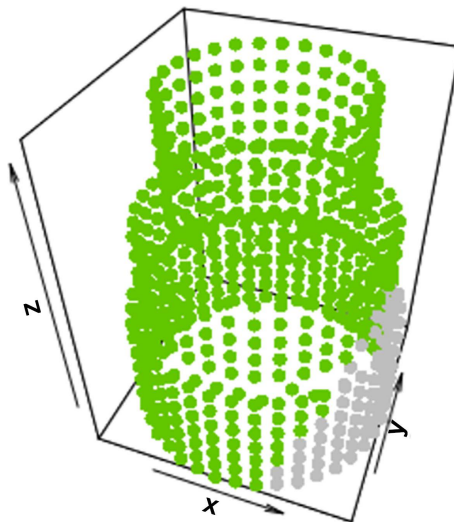


Figure 6. The simulated shadow of tobacco

图 6. 模拟烟草受遮蔽情况

4. 结果分析

在曲靖烟区，对于云烟 87 常规种植密度为行距 \times 株距 = 120 cm \times 55 cm。因此，在模拟试验中，我们将常规种植密度作为对照组，再设两组实验组，具体行株距设置见表 3 所示。

Table 3. The treatment of planting density

表 3. 种植密度处理

处理代号	行距	株距
CG	120 cm	55 cm
MZ1	110 cm	50 cm
MZ2	100 cm	45 cm

为研究不同种植密度下烟草所受遮蔽程度的变化情况，本文运用软件 R 计算除了成熟期内所有实验组和对照组的烟草模型的投影占比，以 2021 年 6 月 19 日为例，不同种植密度下任意一株烟草一天内投影占比的变化情况如图 7 所示。

从图中可以看出，晚上 8 点至早上 7 点由于太阳还未升起烟草没有受到阳光照射，故将其视为完全处于阴影中投影占比为 1，随着太阳升起由于受到周围障碍物的遮蔽烟草会有部分位于障碍物的投影中，早晨至中午烟草位于投影中的占比逐渐减小，在中午 1 点左右整株烟草受遮蔽程度几乎为零，中午到傍

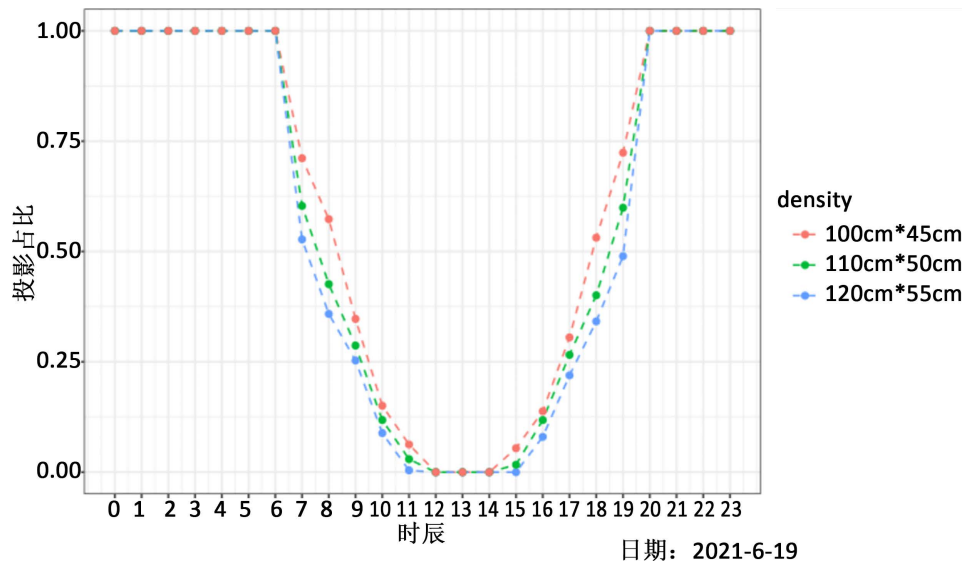


Figure 7. The change of shadow proportion under different planting density

图 7. 不同种植密度下投影占比的变化情况

晚烟草位于投影中的占比又逐渐增大。而随着种植密度的增加烟草位于投影中也逐渐增大，这意味着密植会在一定程度上扩大烟草间相互遮蔽的程度。为了研究这种遮蔽程度扩大的变化情况，本文选用 T 检验比较实验组与对照组烟草间的相互遮蔽程度的差异是否显著，假定原假设 H_0 为实验组与对照组烟草间的相互遮蔽程度无明显差异，分别将两组实验组的投影占比结果与对照组进行 T 检验，显著性检验结果如表 4 所示。

Table 4. T-test results

表 4. T 检验结果

Data	T 值	P 值	置信区间
CG_shadow and MZ1_shadow	-1.4439	0.1489	[-0.05823327, 0.00884272]
CG_shadow and MZ2_shadow	-3.1365	0.0017	[-0.08632508, -0.01990714]

由表可知，取显著性水平 $\alpha = 0.05$ ，针对实验组 MZ1 与对照组 CG，T 检验的 p 值为 0.1489 大于 0.05，不能拒绝原假设，这表明两组投影占比数据没有显著性差异；而实验组 MZ2 与对照组 CG，其 T 检验的 p 值为 0.0017 小于 0.05，应拒绝原假设，这表明两组投影占比数据存在差异。由此，从统计的角度出发，本文认为常规种植密度约 1010 株/m² (120 cm × 55 cm) 与密植密度约 1212 株/m² (110 cm × 50 cm) 之间的投影占比差异不显著，烟草间相互遮蔽的扩大程度不明显，而常规种植密度与密植密度约 1482 株/m² (100 cm × 45 cm) 之间的投影占比差异显著，烟草间相互遮蔽的扩大程度较为明显。综上，认为种植密度为 1212 株/m² (110 cm × 50 cm) 时引起的遮蔽程度在可接受范围内，可以将其作为适宜的密植密度提升烟田的经济效益。

5. 总结与展望

本文通过模拟试验的方式探索了不同种植密度下烟草受到的遮蔽程度情况，并以常规种植密度约 1010 株/m² (120 cm × 55 cm) 的遮蔽程度为参照，分别对两组密植的遮蔽程度进行了差异显著性检验，分析认为从统计的角度出发，针对种植密度对遮蔽程度的影响，可以将种植密度增加到 1212 株/m² (110 cm

× 50 cm)以提高烟田的产量。

种植密度是影响烤烟经济性状的关键因素,目前针对种植密度的研究多为在试验地点设计不同的种植密度进行实际种植后对烟叶的农艺性状、经济效益等比较分析,这需要消耗一定的时间、人力和物力成本,且由于不同试验地点气候环境等因素的差异,不同烟区适宜种植密度的相互推广具有一定的局限性。本文的模拟试验不局限于时间、地点以及种植品种,具有一定的普适性,能为种植密度的试验研究提供可靠的试验区间,为实际的生产种植提供理论参考。但本文的研究仅针对种植密度对于遮蔽程度的影响,而增大种植密度引起的烟田小气候的改变不仅限于由于遮蔽导致的有效受光面积减少,还会使得温度降低、相对湿度增大等。因此,在确定适宜种植密度的试验过程中还需要结合温湿度、烟草生长状态等因素开展系统研究。

参考文献

- [1] 马一琼,顾会战,许自成,王栋,喻晓,何佶弦,郝浩浩.烟草光照因素的研究进展[J].江西农业学报,2017,29(7):98-103.
- [2] 黄晓东,王玉洁,石恒华,杨焱.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.
- [3] 李桂祥,王长君,刘伟,张安宁.太阳入射角与果树株行距的关系[J].中国农学通报,2014,30(13):168-172.
- [4] 吴轶凡,文天雁,胡兴海,郑永娇,贺帅,郑燕飞.云烟87高密度与常规密度栽培产值比较分析[J].耕作与栽培,2017(1):4-6+35.
- [5] 杨雪梅,陈勇能,刘志莲.不同种植密度对云烟87产质量的影响研究[J].乡村科技,2018(35):106-107.
- [6] 张海平,王紫微,赵晓军,杨昊霖,朱海滨,吕凯.种植密度对昆明烟区“云烟87”品质及经济性状的影响[J].中国农学通报,2018,34(17):52-55.
- [7] 郑旭川,孙现超,张帅,熊伟,杨超,王伟宁.饼肥施用量与种植密度对“云烟87”品质的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2021,46(2):56-61.
- [8] 李永平,王颖宽,马文广,谭彩兰.烤烟新品种云烟87的选育及特征特性[J].中国烟草科学,2001,22(4):38-42.