

文章编号: 1007-4929(2019)11-0081-04

基于灰色关联度模型的 温室茶树腾发量影响因素研究

孙红严¹, 马德新^{1,2,3}

(1. 青岛农业大学动漫与传媒学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东省计算中心(国家超级计算济南中心), 济南 250014;

3. 山东大学计算机科学与技术学院, 山东 青岛 266237)

摘 要: 根据青岛市城阳区东旺瞳村的试验温室茶园小型智慧监测气象站监测的影响茶树腾发量数据, 将 Penman-Monteith 作为基本方程, 借鉴参考作物腾发量模型进行茶树腾发量计算, 通过灰色关联度模型分析温室各环境因子对温室茶树腾发量的影响大小。试验结果表明: ①温室茶树腾发量的大小与环境因子有着密切的关系, 随着温度、光照强度等环境因素的改变, 茶树腾发量也会随之发生相应的变化; ②在温室茶园中茶树在晴天、阴天以及雨天时各环境因子对腾发量的影响大小程度排列顺序是相同的, 即: 土壤含水量 > 温度 > 相对湿度 > 光照强度, 且晴天时茶树腾发量远远大于阴天与雨天, 阴天和雨天温室茶树腾发量基本相同。因此在农业温室灌溉设施中, 可以通过调节主要环境因素来影响作物腾发量, 达到节约水源的目的, 并且促进茶树的有效生长, 提高茶叶质量与产量, 可以为温室茶树精准灌溉提供重要决策依据。

关键词: 参考作物腾发量; 灰色关联度; 计算模型; 温室茶树; 精量灌溉

中图分类号: S161; S275 文献标识码: A

Study on the Factors Influencing Tea Tree Evapotranspiration in Greenhouse Based on Grey Relational Model

SUN Hong-yan¹, MA De-xin^{1,2,3}

(1. School of Animation and Media, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China;

2. Shandong Computer Science Center (National Supercomputing Jinan Center), Jinan 250014, China;

3. School of Computer Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, Shandong Province, China)

Abstract: According to the tea tree evapotranspiration data of the small intelligent monitoring weather station in Dongwangyu Village, Chengyang district, Qingdao City, Penman-monteith was taken as the basic equation, the reference crop evapotranspiration model was used for calculation of tea tree evapotranspiration, and the grey relational model was used to analyze the influence of various environmental factors on the greenhouse tea tree evapotranspiration. The experimental results show that: ① There is a close relationship between the amount of tea tree evapotranspiration in greenhouse and environmental factors. With the change of temperature, light intensity and other environmental factors, the amount of tea tree evapotranspiration will change accordingly. ② In the greenhouse tea garden, the order of influence of various environmental factors on evapotranspiration in sunny days, cloudy days and rainy days is the same, namely, soil moisture content > temperature > relative humidity > light intensity. Moreover, in sunny days, the amount of tea tree transpiration is much larger than that in cloudy days and rainy days, and the amount of tea tree transpiration in greenhouse is basically the same in cloudy days and rainy days. Therefore, in agricultural greenhouse irrigation facilities, the main environmental factors can be adjusted to affect crop evapotranspiration, so as to save water, promote the effective growth of tea trees, improve the quality and yield of tea leaves, and provide important decision-making basis for accurate irrigation of tea trees in the greenhouse.

Key words: reference crop evapotranspiration; grey relational degree; computational model; greenhouse tea plant; precise irrigation

收稿日期: 2019-05-05

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2019GNC106001); 青岛市民生科技计划项目(18-6-1-112-nsh); 山东省高等学校科技计划项目(J17KA154)。

作者简介: 孙红严(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向为农业信息化。E-mail: 1036523836@qq.com。

通讯作者: 马德新(1977-), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为农业物联网和作物蒸腾模型。E-mail: madexin@163.com。

茶树 [*Camellia sinensis*(L.) O.Ktze] 是一种古老的双子叶植物, 作为我国重要的传统种植作物之一, 茶是现代社会的多功能产品, 具有较大的经济效益。茶树主要生长在暖温带、亚热带地区, 最适合其生长的温度为 20~25 °C, 具有耐阴、喜光、耐湿的生长特点, 可分为 4 个时期: 幼苗期、幼年期、成年期和衰老期, 其经济年龄期较长, 约为 45 a^[1,2]。环境因子的控制对茶树的生长以及茶叶的产量具有重要意义, 但是在我国北方地区, 冬天温度较低, 降水量少, 因此可以通过温室种植。茶树在生长期需水量较多, 需要精量精确灌溉, 有效促进茶树生长。

作物需水量是制定灌溉用水额度的重要依据, 而作物腾发量是确定其需水量的关键参数, 它的精确度直接影响着作物需水量的准确度。对于作物参照腾发量, 许多专家学者都提出了计算方法、模型与理论, 其中联合国粮食及农业组织 (FAO) 专家组提出的 Penman-Monteith 方程是目前唯一推荐的计算方法^[3,4]。由于露天大田环境具有较大的差异性, 王健^[5]等人, 以 P-M 方程为基础公式, 通过空气动力学原理对风速以及地表净辐射规律进行了修正, 导出了适合温室参考作物腾发量的 P-M 修正式。潘永安^[6]等人研究试验了在某些环境因子缺失下, P-M 温室修正式的应用。但各环境因子之间作用关系联系非常复杂, 因此在计算温室茶树腾发量之后通过引入灰色关联度模型来探索各环境因子对温室茶树腾发量的影响程度。

灰色关联度模型分析法是灰色系统理论中的一种分析法, 该方法由于其在对分析相互关系方面具有极好的作用, 因此被广泛应用。通过使用灰色关联分析法可以有效得出参考作物腾发量与各环境因子之间的相互关系, 通过人为的调控各环境因子, 来促进茶树更好的生长, 达到增加产量和提高质量的目的。能为我国北方温室茶园精量灌溉提供理论依据, 减少农业用水资源的浪费。

1 材料及方法

1.1 温室茶园试验区情况

试验地点位于青岛市城阳区东旺疃村北温室茶园 (编号: 9711), 距青岛农业大学约为 5.7 km, 地理坐标为 E120°46', N36°33', 海拔高度为 54.90 m; 主要位于暖温带季风气候; 多年平均温度为 13.12 °C; 降水量年平均为 650 mm; 年平均相对湿度约为 72%。此茶园长宽和顶高分别为: 38、12、2.5 m, 整个温室约有 1 900 株茶树, 茶树品种为“黄山小种”。温室内植株高度在 0.24~0.46 m 范围之内, 计算时取值为 0.35 m。灌溉采用滴灌带方式, 每个滴孔之间的距离约为 0.2 m。

1.2 环境因子数据采集

采用压力表测量灌水量, 温室内装有山东省计算中心智能控制技术创新团队研制的 2 台小型农业智慧监测站, 它主要利用传感器监测温度 T (°C)、相对湿度 RH (%)、光照强度 L 和土壤含水量 W (%) 以及土壤热通量 G (W/m^2)。每 1 h 监测站上传一次数据, 在茶树的春梢生长期 (2018 年 3 月 1 日-2018 年 4 月 15 日) 进行数据的采集, 数据可以通过手机应用端以及 PC 端网站进行导出 Excel 数据。

1.3 温室茶树腾发量计算方法

王林林^[7]等人在青岛农大智慧茶园温室内以 Penman-

Monteith 方程为基础, 通过借鉴 P-M 温室修正式结合温室茶园实际情况进行了试验, 并提出相对准确的温室茶树腾发量计算模型 $ET_0(T)$ 。本文将利用此模型进行温室茶树腾发量计算, 计算公式如下:

$$ET_0(T) = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{39\ 611\ \gamma(e_a - e_d)}{(T + 273) \left[\ln\left(\frac{Z - 0.64h_t}{0.13h_t}\right) \right]}}{\Delta + \gamma + \frac{15\ \gamma}{\left[\ln\left(\frac{Z - 0.64h_t}{0.13h_t}\right) \right]^2}} \quad (1)$$

式中: $ET_0(T)$ 为温室茶树腾发量, mm/d; Δ 为饱和水汽压曲线斜率, kPa/°C; R_n 为地表净辐射通量, MJ/($m^2 \cdot d$); G 为土壤热通量, MJ/($m^2 \cdot d$); γ 为干湿表常数, 0.064 6 kPa/°C; e_a 和 e_d 分别为饱和水汽压和实际水汽压, kPa; T 为 2 m 高度处的平均温度, °C; h_t 为茶树冠层高度, m; Z 为该地的海拔高度, m。

2 灰色关联度模型介绍及其计算方法^[8-11]

对于两个系统之间的因素, 它们之间的变化不会随着时间的改变而改变的相关性大小的量度, 被称为关联度。在这个系统发展变化时, 如果两个或多个因素之间的变化具有一定的一致性, 即变化的程度如果越高, 则证明它们之间的关联度越高, 否则, 就越低。灰色关联度模型分析一般是包括以下 5 个环节:

(1) 原始的数据的预先处理, 确定对比因素与参照数例。首先设评价因素有 a 个, 评价指标有 b 个, 参考数列: $y_0 = \{y_0(k) | k = 1, 2, \dots, b\}$, 比较数列: $y_i = \{y_i(k) | k = 1, 2, \dots, b\}$ 。

(2) 确定各个因素所对应的权重。在这里可以利用层次分析法来确定相关因子所占的权重 $r = [r_1, r_2, \dots, r_n]$, 其中 r_k ($k = 1, 2, \dots, b$) 为第 k 个因素所占的权重。

(3) 计算灰色相关系数。

计算灰色关联系数公式为:

$$\zeta(k) = \frac{\min_i \min_g |y_0(g) - y_i(g)| + \rho \max_i \max_g |x_0(g) - x_i(g)|}{|y_0(k) - y_i(k)| + \rho \max_i \max_g |y_0(t) - x_i(g)|} \quad (2)$$

一般来讲如果分辨系数越大分辨率越大, 否则越小, 在这里分辨系数 ρ 取 0.5 进行计算, 其中两级最小差为: $\min_i \min_g |y_0(g) - x_i(g)|$, 最大差为: $\rho \max_i \max_g |y_0(t) - y_i(g)|$ 。

(4) 评价分析。根据灰色关联度的大小对各个环境因子进行排序, 确定其相关程度。

3 结果与分析

3.1 温室茶树腾发量典型天气日变化量结果与分析

选取试验期间内选取相近的日期, 不同典型的天气。分别是雨天 (2018 年 4 月 3 日)、阴天 (2018 年 4 月 4 日) 以及晴天 (2018 年 4 月 6 日) 作为典型数据进行计算, 并对实验结果进行分析。实验数据选取阶段从 10:00 至下午 17:00 结束, 以温

室茶树腾发量模型 $ET_0(T)$ 为基本计算公式,使用 Matlab 进行计算。3 月典型天气温室茶树各时间段腾发量如图 1 所示。从图 1 明显可以得出温室茶树腾发量无论是在晴天、阴天还是雨天,它总体趋势都是先上升并在 13:00 左右会达到峰值之后会继续下降。说明光照强度对温室茶树腾发量影响较大,且晴天时茶树腾发量明显高于阴天和雨天,并且在阴天和雨天时变化量基本相同,但由于雨天时天气闷热温度较高所以有时雨天茶树腾发量会高于阴天的。

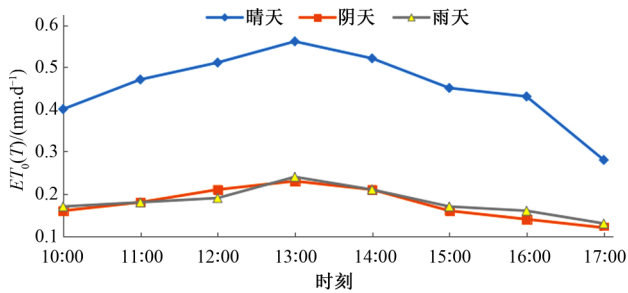


图 1 2018 年 3 月典型天气温室茶树各时间段腾发量

3.2 温室茶树腾发量每日变化结果分析

选取试验期间内选取相近的日期,从 2018 年 3 月 2 日-2018 年 3 月 20 日,利用 Matlab 通过编写程序计算 2018 年 3 月 2 日-2018 年 3 月 20 日茶树腾发量数据,其具体变化量如图 2 所示。从图 2 可以看出随着天气慢慢地回升,温室茶树的腾发量也在逐渐地增加,但在阴雨天气时或者当日温度降低时茶树腾发量会有明显的降低。例如在 3 月 3 日和 3 月 4 日天气状况分别是小雨和中雨天气,当日光照强度不强进而影响茶树腾发量大小,随着天气温度的上升茶树腾发量也随着增大。因此,可知在阴天、雨天或者温度较低等不同天气时会对温室茶树的腾发量产生不同程度的影响。

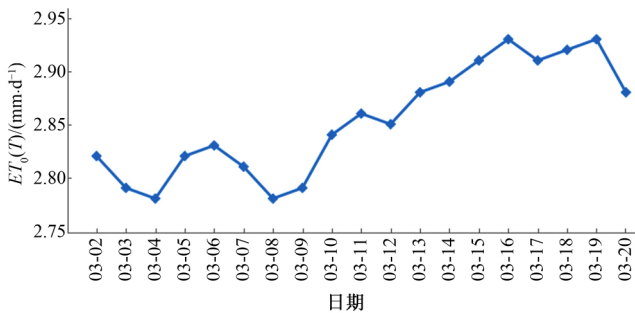


图 2 2018 年 3 月 2 日-2018 年 3 月 20 日茶树腾发量数据

3.3 利用灰色关联度模型计算结果与分析

晴天(2018 年 4 月 6 日)和阴天(2018 年 4 月 4 日)以及雨天(2018 年 4 月 3 日)这三天温室内气象因子数据以及茶树蒸腾蒸发量数据如表 1~表 3 所示,参考作物腾发量与各气象因子的关联度及排序如表 4~表 6 所示。根据灰色关联度模型的计算公式,将数据代入用 Matlab 软件编写的计算程序内可以算出各因素关联度的大小,如果灰色关联度的数值越大,就说明某个环境因子对目标因素的影响越大^[12]。通过表 4~表 6 可以得出:无论是在阴天、雨天还是晴天的状态下影响度大小都是按着土壤含水量>温度>相对湿度>光照强度顺序排列的。就此温室茶园来说,在晴天与阴天和雨天天气情况下,利用温

室茶树蒸腾蒸发模型计算的作物腾发量与各温室环境因子之间关系整体上趋势相同,其中土壤含水量对温室茶树腾发量的影响最大,因此在灌溉施水时要注意控制水量,结合其他环境因子通过调控其大小可以促进和降低温室茶树的腾发量,从而提高茶树生长条件以及茶叶产量。

表 1 晴天(2018 年 4 月 6 日)各气象因子数据

时刻	参考作物腾发量/mm	相对湿度/%	温度/℃	土壤含水量/%	光照强度/Lx
10:00	0.40	53.5	38.5	15.7	46 840.7
11:00	0.47	49.5	44.9	14.8	61 187.5
12:00	0.51	47.5	47.3	15.2	66 682.0
13:00	0.56	48.1	44.8	16.3	59 203.3
14:00	0.52	45.6	40.9	15.8	46 077.6
15:00	0.45	48.2	38.3	15.5	29 517.7
16:00	0.43	63.3	32.1	15.8	12 194.8
17:00	0.28	78.7	23.1	17.2	4 410.9

表 2 阴天(2018 年 4 月 4 日)各气象因子数据

时刻	参考作物腾发量/mm	相对湿度/%	温度/℃	土壤含水量/%	光照强度/Lx
10:00	0.16	58.8	36.9	19.1	46 153.9
11:00	0.18	58.4	38.4	15.8	32 417.6
12:00	0.21	60.6	37.4	16.4	38 217.4
13:00	0.23	64.4	35.7	15.3	30 586.1
14:00	0.21	67.9	31.6	15.4	25 702.1
15:00	0.16	70.5	28.7	17.6	19 673.4
16:00	0.14	74.4	22.9	18.6	9 371.2
17:00	0.12	82.2	13.8	18.0	6 013.4

表 3 雨天(2018 年 4 月 3 日)各气象因子数据

时刻	参考作物腾发量/mm	相对湿度/%	温度/℃	土壤含水量/%	光照强度/Lx
10:00	0.17	78.2	30.1	13.7	26 236.3
11:00	0.18	67.8	30.4	14.3	35 317.5
12:00	0.19	45.9	28.7	15.8	30 891.4
13:00	0.24	46.0	26.5	14.7	24 328.5
14:00	0.21	40.6	25.9	16.2	17 765.6
15:00	0.17	40.5	24.7	19.5	14 331.5
16:00	0.16	43.5	21.2	15.8	4 868.8
17:00	0.13	58.8	19.6	18.2	3 953.0

表 4 参考作物腾发量晴天(2018 年 4 月 6 日)与各气象因子的关联度及排序

气象因子	相对湿度/%	温度/℃	土壤含水量/%	光照强度/Lx
关联度	0.255	0.267	0.405	0.155
影响度排序	3	2	1	4

表 5 参考作物腾发量阴天(2018 年 4 月 4 日)与各气象因子的关联度及排序

气象因子	相对湿度/%	温度/℃	土壤含水量/%	光照强度/Lx
关联度	0.158	0.191	0.265	0.102
影响度排序	3	2	1	4

表6 参考作物腾发量与雨天(2018年4月3日)与各气象因子的关联度及排序

气象因子	相对湿度/ %	温度/ ℃	土壤含 水量/%	光照强度/ Lx
关联度	0.137	0.171	0.224	0.087
影响度排序	3	2	1	4

4 结 语

参考作物蒸腾量的大小除了受自身生理条件和环境因子影响外,种植户的栽培技术、灌溉施肥、自身品种也会对其产生不同程度的影响^[13-15]。使用灰色关联度分析法,简单方便且结果与作物实际表现一致^[16]。在这里主要运用灰色关联度模型分析结果表明,影响北方温室茶树腾发量的主要因素为环境因子且对茶树腾发量的影响程度不同。在实际操作计算中,还存在一些“理想处理因素”,对一些测量值采用代入公式计算时还具有一定的认为主观性,因此我们应该更多地运用现代智慧农业技术对温室茶园环境因子进行监控,以求数据更加准确。在温室茶园中使用智慧农业设施进行工作,根据茶树的生长需求设定一定的数据临界值,当达到这一临界值时就采用灌溉、施肥、通风、遮阳、通过等一系列操作去调节环境因子,以求能降低环境因子对茶树生长所造成的不利影响,在灌溉时能够根据茶树需水量和蒸腾蒸发量进行精确浇水,提高茶叶的产量以及质量,同时也节约一定的水资源,减少肥料的浪费,进一步促进茶叶经济发展的稳步向前。

参考文献:

- [1] Ian Suthwell, Robert Lowe. Tea Tree [M]. Taylor and Francis: 2004.
- [2] 缪子梅, 褚琳琳, 肖梦华, 等. 喷灌条件下水分调控对白茶生长发育及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2017(4): 30-32.
- [3] 汪明霞, 陈晓飞, 王铁梁, 等. 腾发量的测定和计算方法研究综述[J]. 中国农村水利水电, 2006(12): 9-12.
- [4] 陈石磊, 霍再林. 黑河流域近53年气候变化对参考作物腾发量影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(5): 81-87, 91.
- [5] 陈新明, 蔡焕杰, 李红星, 等. 温室内作物腾发量计算与验证[J]. 水科学进展, 2007(6): 812-815.
- [6] 潘永安, 范兴科. 气象资料缺测时 Penman-Monteith 温室修正式的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 117-124.
- [7] 王林林, 马文杰, 马德新. 基于 Penman-Monteith 方程的温室茶树蒸腾蒸发模型研究[J]. 节水灌溉, 2017(8): 30-33, 43.
- [8] Deng Guanqian, Qiu Jing, Liu Guanjun, et al. Environmental stress level evaluation approach based on physical model and interval grey association degree[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26(2): 456-462.
- [9] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [10] 汪顺生, 王康三, 孙景生, 等. 利用加权灰色关联模型评价不同灌水方式[J]. 节水灌溉, 2017(6): 41-45.
- [11] 李红峥, 曹红霞, 郭莉杰, 等. 沟灌方式和灌水量对温室番茄综合品质与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4 179-4 191.
- [12] 马世林. 秸秆生物反应堆条件下温室反季节番茄滴灌灌溉效应研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
- [13] 刘海军, 黄冠华, Josef Tanny, 等. 温室内香蕉树蒸腾量预报的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007(3): 174-179.
- [14] 迟道才, 曲霞, 刘婷婷, 等. 基于偏最小二乘回归的投影寻踪耦合模型在参考作物腾发量预测中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2011(2): 76-78.
- [15] David Helman, David J Bonfil, Itamar M Lensky. Crop RS-Met: a biophysical evapotranspiration and root-zone soil water content model for crops based on proximal sensing and meteorological data[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211(1): 210-219.
- [16] 常晓敏, 高占义, 王少丽, 等. 基于气温预报和 HS 公式的不同生育期参考作物腾发量预报[J]. 节水灌溉, 2016(8): 169-174.

· 信 息 ·

欢迎订阅《节水灌溉》

《节水灌溉》是由中国国家灌排委员会、中国灌溉排水发展中心、武汉大学、国家节水灌溉北京工程技术研究中心共同主办的技术类期刊。是全国中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊,省(部)优秀科技期刊,入选“中国期刊方阵”。

栏目设置: 试验研究、水环境与水资源、工程技术、水利经济、工程管理、技术讲座、国外动态、设备与市场、简讯等。

读者对象: 从事节水灌溉行业的水利、农业、林业、机械及相关领域的技术人员、管理人员。

《节水灌溉》邮发代号 38-17,月刊,10.00元/册,全年定价 120元。每月 5 日出版,全国各地邮局征订,国内外公开发行。也可直接从编辑部订阅。

地 址: 武汉市珞珈山 武汉大学(二区)《节水灌溉》编辑部

邮 编: 430072

电 话: (027) 68776880 (027) 68772201

传 真: (027) 68776133

电子信箱: jieshuiguangai@188.com

联系人: 甘 甜

单位名称: 节水灌溉编辑部

开户银行: 中行武汉珞珈山支行

账 号: 570357528608