

北方秋冬茬设施番茄补光方案的模糊 Borda 组合评价

黄媛¹, 李瑜玲¹, 康艺凡¹, 杜亚茹¹, 张燕², 杨英茹¹

(1. 石家庄市农业信息化工程技术研究中心·河北省都市农业技术创新中心·石家庄市农林科学研究院 石家庄 050041; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心 北京 100097)

摘要:为评价秋冬茬设施番茄栽培中不同补光时段和时长对番茄生理、生长、产量和品质的综合影响,以大果型番茄合作 906 为试材,分别设置盖棉被前开始补光 2 h 至棉被放下后补光 2 h(T1)、盖棉被后补光 4 h(T2)、盖棉被后补光 6 h(T3)、棉被揭开前补光 4 h(T4)、棉被揭开前补光 6 h(T5)等 5 组处理,对照组(CK)不进行补光,测定了植株的株高相对生长速率、叶片光合速率、水分利用率、光能利用率以及果实可溶性固形物含量、果形指数、果肉厚度和单穗质量共 8 项指标,利用灰色关联法对评价指标进行权重确定和打分,评分由高到低排名依次是 T4>T3>T2>T5>T1>CK,利用信息量权重评价法的结果显示 T3>T4>T2>T1>T5>CK,基于熵值法的 TOPSIS 评价法的评价结果为 T2>T4>T3>T1>T5>CK。因此,利用模糊 Borda 法综合了 3 种单一评价方法的排名和序值信息,通过计算最终表明,针对北方地区秋冬茬番茄栽培管理中,在 1 穗花现蕾后,每日于棉被放落后进行 6 h 补光对番茄生长和产量、品质的提升最佳。

关键词:设施番茄;灰色关联法;信息量权重;熵值法;模糊 Borda 法

中图分类号:S641.2 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2022)04-039-06

Fuzzy Borda combination evaluation of lighting scheme for tomato production in greenhouse during autumn and winter in northern China

HUANG Yuan¹, LI Yuling¹, KANG Yifan¹, DU Yaru¹, ZHANG Yan², YANG Yingru¹

(1. Shijiazhuang Agricultural Information Engineering Technology Research Center/Hebei Province City Agriculture Technology Innovation Centers/Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, Hebei, China; 2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: Large fruited tomato cultivar Hezuo 906 was used as the test material to evaluate the comprehensive effects of light supplement periods and durations on the physiology, growth, yield and quality of tomato protected cultivation during autumn and winter. There were five light supplement treatments, 2 hours before till 2 hours after the plastic house was covered with quilt (T1), 4 hours after quilt cover (T2), 6 hours after quilt cover (T3), 4 hours before quilt cover removal in the morning (T4) and 6 hours before quilt cover removal in the morning (T5), and no light supplement was the control (CK). Plant height, photosynthetic rate, water use efficiency, light energy use efficiency of leaves, soluble solids, fruit shape index, flesh thickness and fruit weight were measured. The weights of evaluation indexes were determined and scored by grey correlation method, and the ranking from high to low was T4 > T3 > T2 > T5 > T1 > CK. The results of information weight evaluation method showed T3 > T4 > T2 > T1 > T5 > CK, which was based on entropy method. The evaluation result of TOPSIS based on entropy method was T2 > T4 > T3 > T1 > T5 > CK. Therefore, the fuzzy Borda method was used to synthesize the ranking and order information of three single evaluation methods. The calculation finally showed that the best light supplement to improve tomato growth, yield and quality was 6 hours lighting after the plastic house covered with quilt every day at the stage of the first set of flowers appeared.

Key words: Protected tomato production; Grey correlation method; Information weight; Entropy value method; Fuzzy Borda method

收稿日期:2021-10-03;修回日期:2022-02-17

基金项目:河北省科技厅重点研发计划项目(19226919D);国家大宗蔬菜产业技术体系岗位专家任务项目(CARS-23-C06);石家庄市科学技术研究与发展计划项目(201490074A)

作者简介:黄媛,女,农艺师,主要从事农业信息化等研究工作。E-mail:13494515@qq.com

通信作者:杨英茹,女,副研究员,主要从事作物栽培与农业信息化等研究工作。E-mail:13363883898@163.com

石家庄市城郊设施农业以周年化蔬菜生产为主,其中番茄是主要蔬菜栽培种类之一^[1]。番茄是喜温喜光植物,北方秋冬茬番茄一般8—9月定植,次年2—3月收获^[2]。由于近年来石家庄地区雾霾天气频发^[3],以空气质量指数150及以上作为空气能见度、光照条件不佳的标准^[4-5],统计2015—2019年11—12月石家庄地区多云、雨、雪天气以及空气质量指数150以上的天气时间,分别为50、56、23、38、33 d,可见光照不足已成为石家庄地区秋冬茬设施番茄生产所面临的突出问题^[6]。

补光是农艺栽培的重要手段,可有效缓解北方秋冬季光照不足对作物生长发育造成的影响^[7]。补光研究可分为光源种类、光照时长、光源位置、补光时段等方面。王舒亚等^[8]以LED补光灯为光源研究了不同补光时长对番茄生长、产量和品质的影响,确定了补光3 h效果最好。李晓慧等^[9]分析了在不同时段的补光处理下番茄幼苗的形态和生理指标,其中以15:00—19:00时段的处理效果各项指标最优。闫文凯等^[10]研究了不同红蓝光比例的株间补光灯对番茄产量、干物质及光合作用的影响,结果表明株间补光显著提高了番茄干物质和产量,但不同红蓝光处理之间差异不显著。柳帆红等^[11]通过不同补光时段对比试验得到揭帘前5 h进行补光可提高番茄果实的风味和品质。前人对补光效果的评价往往仅对不同处理之间某一评价指标进行横向显著性研究,对番茄生长、生理、果实产量、品质的综合性评价较少^[12],补光对某一性状的影响不能全面反映补光效果。为此,笔者开展秋冬茬番茄花果期不同补光时段、时长试验,对番茄生长和生理指标,果实产量和品质等多指标进行综合评价。

目前,对于单一农艺指标的评价已经不能满足研究和种植的需要,基于不同学科运算逻辑的评价方法相继涌现^[13]。对多个指标的综合评价一般分为指标选择、权重确定、评分评价三个步骤,其中确定权重和评价评分的方法较多,常见的有基于经验的专家评价法,基于运筹学的层次分析法和模糊综合评价法,基于多元统计学的因子分析法,基于计算机科学的网络神经评价法,以及综合多种评价法的算法,例如基于专家评价的层次分析法、基于模糊综合评价的网络神经评价法等^[14]。苏秀敏等^[15]利用层次分析法对16个番茄品种的经济品质和营养品质进行了打分,筛选出了适宜于旱地种植的品种。孙利萍等^[16]采用隶属函数法对番茄的营养品质进行了综合评价,筛选出了最佳水溶肥复配在设施

番茄上的应用方案。庞胜群等^[17]利用灰色系统理论中关联分析方法对8个酱用番茄栽培品种进行综合评估,表明红霸、红运2个品种综合表现最好。不同评价方法由于运算原理不同,评价结果存在差异,笔者采用灰色关联法、信息量权重法、基于熵值法的TOPSIS评价法3种方法对不同处理进行打分排名,再通过模糊Borda法对单一评价法进行综合评价。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料选择大果型番茄合作906(抚顺市北方农业科学研究所育成),该品种为有限生长型,粉红果色,综合抗逆性强。

光源采用圆形LED补光灯(石家庄辰宁农业科技有限公司),单灯功率50 W,波段400~800 nm,距灯30 cm光量子通量 $380 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,有效照射半径1.5~2.0 m,安装间距3.0 m,灯源高度可调节,照射高度保持在距植株顶端生长点1.5 m处。

1.2 方法

试验材料于2020年11月3日定植于石家庄市农林科学研究院赵县农业科技园区5号番茄种植大棚。种植面积489 m²,每行14株,大小行种植,小行距40 cm,大行距120 cm。试验共设5组补光处理,对照组不进行补光,具体设置见表1。每个处理设3次重复,共18个小区,小区面积21.44 m²,随机区组设计,每个小区2盏补光灯,每组处理之间留2行保护行。从试验行随机取样5株,采样时间为番茄1穗花现蕾至1穗果成熟,具体为2020年12月1日至2021年2月19日。

表1 试验处理设置

编号	补光处理
T1	盖棉被前开始补光2 h至棉被放下后补光2 h
T2	盖棉被后补光4 h
T3	盖棉被后补光6 h
T4	棉被揭开前补光4 h
T5	棉被揭开前补光6 h
CK	无补光

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标 株高测量采用精度0.1 mm的直尺,测量植株基部到顶端生长点之间的距离,测量3次取平均值。测量时间为补光试验的10、20、30、40 d。株高相对生长速率的计算公式: $V_s = (\ln L_2 - \ln L_1) / (T_2 - T_1)$ 。

V_s 为番茄株高相对生长速率($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$), L_1 、 L_2 为

相邻 2 次的株高(cm), T_2 、 T_1 为 2 次测量的间隔时间(d)。

1.3.2 生理指标 生理指标测量设备为 LI-6400 型便携式光合测量仪(LI-COR, 美国), 测量日期为补光试验的 10、20、30、40 d, 测量时段为 9:00—12:00。每株选择植株顶端向下第 3 片完全展开的功能叶, 测量叶面积 11 cm², 测量 3 次, 取平均值。生理指标包含光合速率、水分利用效率和光能利用率。

1.3.3 果品品质 (1)果形指数测定:在 1 穗果达到商品成熟度时开始取样, 采用精度 0.02 mm 的游标卡尺测量果纵径、果横径, 果纵径为果蒂至果顶的直线长度, 果横径为与纵径垂直的最大横切面的直径。并计算果形指数, 果形指数=果纵径/果横径。

(2)果肉厚度测定:采用精度 0.02 mm 的游标卡尺测量果肉厚度, 方法为沿果横径切开果实后测量果肉厚度, 每个果实随机取 3 个心室位置进行测量, 测量 3 次, 取平均值。

(3)可溶性固形物含量测定:采用 PAL-1 数显甜度测试仪(爱拓, 日本)测定可溶性固形物含量, 将番茄样品洗净后捣碎, 使用滤纸过滤出清液进行测量。

(4)单穗质量测定:采用精度 0.1 g 天平测量单穗质量, 取第 1 穗全部果实称质量。

1.4 评价方法

1.4.1 灰色关联评价法 为消除数据之间的量纲差异, 首先将数据进行均值化处理。灰色关联分析法用于评分值与“参考值”相似程度的比较, 将评价值的最大值做为参考值进行分析^[18], 结合关联系数计算公式:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|},$$

$k=1, \dots, m$ 。

式中, ρ 为分辨系数, 取 0.5, 计算出关联系数值。

对各评价对象分别计算其各指标与参考序列对应元素的关联系数的均值, 以反映各评价对象与参考序列的关联关系, 并称为关联度, 记为:

$$r_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k)。$$

1.4.2 信息量权重评价法 为消除数据之间的量纲差异, 将数据进行均值化处理。信息量权重法基于指标数据所包含的信息量的变异系数(CV)来确

定权重的变异系数 $CV = \frac{S_i}{\bar{X}_i}$;

将变异系数进行归一化处理得到各指标项权重^[19]。

1.4.3 基于熵值法 TOPSIS 评价 为消除数据之间的量纲差异, 将数据进行归一化处理^[20], 用熵权法计算权重值^[21]。首先计算第 j 个指标中, 第 i 个样本标志值得比重:

$$\rho_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, j=1, 2, \dots, n;$$

计算第 j 项指标的熵值:

$$e_j = \frac{-\sum_{i=1}^m \rho_{ij} \ln \rho_{ij}}{\ln m}, 0 \leq e_j \leq 1, j=1, 2, \dots, n;$$

根据指标值得差异度进行划定权重:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m 1 - e_j}。$$

将数据进行加权构造加权矩阵, 再从加权矩阵中选择指标值得最大值和最小值来表示正、负理想解, 分别计算每个处理中各指标与正、负理想解的距离, 最后计算相似贴进度和排名^[22]。

1.4.4 基于模糊 Borda 组合评价 模糊 Borda 法是针对不同评价方法的结果进行组合评价的方法, 主要步骤包括事前检验、组合评价、事后检验^[23-24]。采用 Kendall 相关系数法对不同评价结果进行事前检验, 若满足一致性检验, 则计算各单一评价方法对评价项目得分的隶属优度, 即该评价方法决定其得到好的评价结果的能力。

$$\mu_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i \{x_{ij}\}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}} \times 0.9 + 0.1;$$

其中, x_{ij} 为第 i 项在第 j 种方法的得分; μ_{ij} 为第 i 项在第 j 种方法下属于“优”的隶属度。

计算第 i 项处于 h 位的模糊频数 ρ_{hi} 及模糊频率 W_{hi} :

$$\rho_{hi} = \sum_{j=1}^n \delta_{hi} \mu_{ij};$$

$$W_{hi} = \frac{\rho_{hi}}{\sum_h \rho_{hi}};$$

其中 n 为使用的单一评价方法数,

$$\delta_{hi} = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 项排在第 } h \text{ 位} \\ 0, & \text{其他} \end{cases};$$

将排名名次转化为得分:

$$Q_{hi} = \frac{1}{2}(q-h)(q-h+1);$$

其中, Q_{hi} 为第 i 项在 h 位的得分; q 为评价项目总数。

计算第 i 项的模糊 Borda 数得分。

$$B_i = \sum W_h Q_{hi}$$

根据上述计算方法, 得到综合得分及排名。

1.5 数据分析

试验数据使用 IBM SPSS Statistics 23 进行 Kendall 相关系数和 Spearman 相关性检验, 使用 Microsoft Excel 2007 软件进行分析并通过其进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 番茄单一评价模型

2.1.1 灰色关联评价法 表 2 为各组处理不同指标的数据表现。经方差分析, T2 处理的可溶性固形物含量高于其他处理, 光合速率较 T5、CK 显著提高 60.90%、69.40%。T3 处理在株高生长速率、单穗质量、果形指数、水分利用率、光能利用率方面表现优于其他处理, 果肉厚度较 T2 显著提高 19.62%。因此, 有必要对生理、产量、品质进行多目标综合评价, 以确定对目标最优的补光方案。

将不同补光处理的番茄的可溶性固形物含量、

表 2 各组处理供试材料基本表现

编号	w(可溶性固形物)/%	株高生长速率/(cm·d ⁻¹)	单穗质量/g	果肉厚度/mm	果形指数	水分利用率/(μmol·mol ⁻¹)	光能利用率/%	光合速率/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
T1	3.84±0.30 a	0.139 8±0.01 a	465.18±155.94 a	7.45±1.18 ab	0.645 2±0.05 a	21.32±10.15 a	135.22±74.29 a	6.26±4.79 ab
T2	4.17±0.61 a	0.129 6±0.01 a	484.04±197.46 a	6.88±1.34 b	0.653 1±0.05 a	25.70±11.08 a	140.89±80.66 a	9.30±4.31 a
T3	4.08±0.59 a	0.140 5±0.02 a	595.05±163.72 a	8.23±0.96 a	0.655 4±0.06 a	26.00±12.25 a	166.95±85.87 a	6.21±2.85 ab
T4	4.09±0.57 a	0.134 0±0.01 a	568.70±186.13 a	7.56±0.79 ab	0.647 3±0.04 a	24.77±10.68 a	119.40±65.62 a	8.29±3.66 ab
T5	3.80±0.58 a	0.134 7±0.01 a	487.74±147.90 a	7.51±1.13 ab	0.643 3±0.05 a	24.17±20.35 a	116.39±92.67 a	5.78±3.90 b
CK	3.94±0.28 a	0.130 0±0.02 a	509.53±229.67 a	7.90±0.70 ab	0.631 3±0.04 a	18.76±7.97 a	88.95±43.27 b	5.49±2.14 b

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

株高生长速率、单穗质量、果肉厚度、果形指数、水分利用率、光能利用率、光合速率 8 项指标以 $C_1 \sim C_8$ 表示。根据关联度值进行排序, 各处理排名结果见表 3。

灰色关联评价法根据各处理与所有评价指标中最优值的曲线几何相似度进行关联度评判, 其核心是通过指标的关联度确定指标的权重, 之后加权求和进行打分, 评分由高到低排名依次是 T4>T3>T2>T5>T1>CK, 结果表明, T4 组即棉被揭开前补光 4 h 为最优补光方案, 对照组较其他补光

表 3 灰色关联法综合得分和排名

参数	T1	T2	T3	T4	T5	CK
综合得分	5.742	6.195	6.213	6.452	5.770	5.490
排名	5	3	2	1	4	6

方案评分最低。

2.1.2 信息量权重评价法 利用指标数据所包含的信息量的变异系数确定权重, 结果见表 4, 根据权重计算得到不同补光处理的得分和排名, 见表 5。

表 4 指标权重

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
平均值	0.501	0.474	0.410	0.524	0.607	0.648	0.500	0.367
标准差	0.406	0.427	0.399	0.337	0.354	0.393	0.338	0.404
CV 系数/%	80.98	90.04	97.46	64.26	58.34	60.54	67.51	110.19
权重/%	12.87	14.31	15.49	10.21	9.27	9.62	10.73	17.51

表 5 信息权重法综合得分和排名

参数	T1	T2	T3	T4	T5	CK
综合得分	0.376	0.574	0.826	0.646	0.31	0.183
排名	4	3	1	2	5	6

信息量权重法依据指标的变异系数进行权重计算, 即认为指标项的变异系数越大其携带的信息

量越大, 则所负权重越大, 通过该评价方法, C_8 (光合速率)这一指标所负权重值最大, 为 17.51%, 其次 C_3 (单穗质量)的权重值为 15.49%, 第三位 C_2 (株高生长速率)权重值为 14.31%, 在该方法的评价结果中 T3 组即棉被放落后补光 6 h 为最优方案, 无补光的对照组评分最低。

2.1.3 基于熵值法 TOPSIS 评价 用熵权法计算权重系数,结果见表 6。根据每个处理中各指标与正、负理想解的距离,计算相似贴近度和排名,见表 7。

基于熵值法 TOPSIS 评价法通过熵值法进行赋权,权重系数最高的为 C_8 (光合速率)39.18%,其次是 C_7 (光能利用率)权重系数 35.14%、 C_6 (水分利用

表 6 熵值法计算权重结果

参数	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
信息熵值	0.999 7	0.999 7	0.997 7	0.999 2	1.000 0	0.996 5	0.990 0	0.988 9
信息效用值	0.000 3	0.000 3	0.002 3	0.000 8	0.000 0	0.003 5	0.010 0	0.011 1
权重系数/%	1.18	0.97	8.06	2.94	0.14	12.39	35.14	39.18

表 7 基于熵值法 TOPSIS 评价计算结果

参数	T1	T2	T3	T4	T5	CK
正理想解距离	0.196	0.074	0.176	0.143	0.244	0.307
负理想解距离	0.135	0.262	0.222	0.183	0.082	0.008
相对接近度	0.408	0.780	0.559	0.562	0.252	0.025
排名	4	1	3	2	5	6

率)权重系数 12.39%。权重系数确定后再利用 TOPSIS 评价法进行排序,即通过各处理数据间与最优、最劣值的距离进行排序,最终的评价结果为 $T2 > T4 > T3 > T1 > T5 > CK$,即棉被放落后补光 4 h 为最优方案,无补光措施的对照组评分最低。

2.2 基于模糊 Borda 组合评价

通过灰色关联分析法、信息量权重法、基于熵值法 TOPSIS 评价法对不同补光处理下的番茄生长、生理、产量和品种数据进行评价,3 种评价得分和排名情况不尽相同,因此有必要对 3 种评价方法的排名进行组合评价。

2.2.1 番茄单一评价模型的事前检验 采用 Kendall 相关系数法对 3 种评价结果进行一致性检验。经检验,各个评价模型之间的相关系数在 0.600~0.867 之间,说明 3 种评价方法之间存在一定的相关关系。再通过 Kendall-W 协和系数检验,当协和系数接近 1 时,说明数据之间的一致性较强。通过计算得到灰色关联法、信息权重、熵值法的秩平均值分别为 3.00、1.67、1.33,协和系数为 0.778,见表 8,表明单一评价结果之间具有相容性,满足事前一致性检验。

表 8 Kendall-W 协和系数检验统计

参数	个案数	肯德尔	χ^2	自由度	渐近显著性数值
	6	0.778	9.333	2	0.009

2.2.2 基于模糊 Borda 法的番茄产量-品质组合评价模型 根据模糊 Borda 法计算各单一评价方法对评价项目得分的隶属优度,计算第 i 项处于 h 位的模糊频数 P_{hi} 及模糊频率 W_{hi} ,将排名名次转化为得分,得到不同补光处理下番茄综合得分及排名,见

表 9。

表 9 基于模糊 Borda 法综合得分及排名

参数	T1	T2	T3	T4	T5	CK
综合得分	3	9.7	12.36	10	1	0
排名	4	3	1	2	5	6

2.2.3 番茄产量-品质的组合评价模型的事后检验 采用 Spearman 相关性分析对 3 中单一评价法与模糊 Borda 法的序值进行相关性检验,由表 10 可知,模糊 Borda 法与信息权重、熵值法、灰色关联法 3 项之间相关系数值分别是 0.943、0.829、0.829,并且相关系数值均大于 0,意味着模糊 Borda 法与信息权重、熵值法、灰色关联法之间有着正相关关系,可以通过事后检验。

表 10 Spearman 等级相关系数事后检验

组合模型	模糊 borda 法	信息权重法	熵值法	灰色关联法
模糊	1			
信息权重	0.943**	1		
熵值法	0.829*	0.771	1	
灰色关联法	0.829*	0.943**	0.829*	1

注:*表示在 0.05 水平差异显著,**表示在 0.01 水平差异显著。

3 讨论与结论

由于北方地区冬季气温低、光照时间短,人工补光措施是保障设施蔬菜生长良好的重要手段。郭建军等^[25]研究表明,通过在温室中增加紫外线 B 可调节番茄的节间长度从而增加果实数量、硬度,提高果实抗氧化能力。齐振宇等^[26]研究表明在植株顶部进行 LED 补光有利于形成良好的株形,对光合效率和生长素的增高均有促进作用。以上研究结论与本试验一致,即无补光措施的对照组在不同评价方法下均为综合评价得分最低的一组。宋羽等^[27]对新疆戈壁日光温室番茄不同叶背补光模式开展了研究,结果表明,揭帘前后适度高光强补光条件下,番茄果实中可溶性蛋白、抗坏血酸(维生素 C)、番茄红素和挥发性物质含量最高。王瑞等^[28]开展了不同时段补光措施对番茄果实矿物质元素影响的

研究,结果表明不同补光时段均不同程度提高番茄果实中矿质元素含量,且大多元素含量在揭帘前补光5 h的条件下明显增加。以上研究与本研究结果不尽相同,原因是上述学者立足不同补光方式对番茄某类品质影响效果研究,而未能综合评价植株生长及产量等多方面指标。因此,笔者通过多种评价方法,对番茄植株生长、生理、果实产量、品质等8项指标进行权重分配及综合评价,以探求不同补光方式对设施番茄的综合影响。

本试验采用灰色关联法、信息量权重评价法、基于熵值法的TOPSIS评价法对不同补光处理下的番茄生长、生理、产量、品质等8项指标进行了评分和排名,结果显示增加LED光源补光的各组处理在不同评价方法下均优于无补光措施的对照组。由于不同评价方法其统计学意义各不相同,对数据的利用角度不同,因此结果之间存在差异,为更加准确地评价不同补光方式的差异,进而采用模糊Borda法对以上3种评价方法的评价信息进行组合评价,充分利用每种评价方法结论中的评价价值和序值信息。通过事前一致性检验和事后相关性检验,最终结果表明,盖棉被后补光6 h为番茄综合评价中最优补光方案。

参考文献

- [1] 王勃颖,宗义湘,董鑫.河北省番茄产业发展现状及问题分析[J].中国蔬菜,2020(7):7-12.
- [2] 贾宋楠,刘胜尧,范凤翠,等.日光温室秋冬茬番茄滴灌水肥一体化技术规程[J].河北农业科学,2020,24(3):48-50.
- [3] 曲晓黎,付桂琴,贾俊妹,等.2005—2009年石家庄市空气质量分布特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境学报,2011,27(3):29-32.
- [4] 环境保护部科技标准司.环境空气质量指数(AQI)技术规定:HJ 633-2012[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [5] 周洁,郝建强,习佳林,等.北京市空气质量指数对番茄和草莓光合作用的影响[J].农业科学研究,2015,36(1):1-4.
- [6] 刘文科,杨其长.雾霾天气与设施园艺补光[J].科技导报,2014,32(10):12.
- [7] 赵玉萍,邹志荣,杨振超,等.不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(5):125-130.
- [8] 王舒亚,吕剑,郁继华,等.不同补光时长对日光温室番茄生长、产量及品质的影响[J].中国蔬菜,2018(10):35-39.
- [9] 李晓慧,王一迪,班甜甜,等.LED补光对番茄幼苗形态特征及相关生理特性的影响[J].北方园艺,2020(4):1-6.
- [10] 闫文凯,张雅婷,张玉琪,等.LED株间补光对日光温室番茄产量及光合作用的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(7):132-138.
- [11] 柳帆红,肖雪梅,郁继华,等.不同时段补光对日光温室番茄营养与风味品质的影响[J].西北农业学报,2020,29(4):570-578.
- [12] 陈衍泰,陈国宏,李美娟.综合评价方法分类及研究进展[J].管理科学学报,2004,7(2):69-79.
- [13] 虞晓芬,傅玳.多指标综合评价方法综述[J].统计与决策,2004(11):119-121.
- [14] 彭张林.综合评价过程中的相关问题及方法研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.
- [15] 苏秀敏,韩文清,王俊,等.基于层次分析法的旱地不同番茄品种产量和品质比较[J].东北农业大学学报,2020,51(9):34-42.
- [16] 孙利萍,高敏丽,赵增寿,等.不同水溶肥复配在设施番茄上的应用效果[J].中国瓜菜,2019,32(9):38-41.
- [17] 庞胜群,赵飏,李格.灰色关联分析法综合评价不同品种加工番茄的品质[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,(6):682-684.
- [18] 罗小明,杨惠鹤.灰色综合评判模型[J].系统工程与电子技术,1994(9):18-26.
- [19] 杨宇.多指标综合评价中赋权方法评析[J].统计与决策,2006(7):17-19.
- [20] 朱喜安,魏国栋.熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J].统计与决策,2015(2):12-15.
- [21] 郭显光.熵值法及其在综合评价中的应用[J].财贸研究,1994(6):56-60.
- [22] 张科静,仓平,高长春.基于TOPSIS与熵值法的城市创意指数评价研究[J].东华大学学报(自然科学版),2010,36(1):81-85.
- [23] 徐林明,林志炳,李美娟,等.基于模糊Borda法的动态组合评价方法及其应用研究[J].中国管理科学,2017,25(2):165-173.
- [24] 刘洋.基于模糊Borda法的组合评价模型在水质评价中的应用[J].城镇供水,2018(3):38-41.
- [25] 郭建军,王晓芳,孙玉楚,等.人工增加UV-B辐照改善温室番茄品质[J].中国瓜菜,2020,33(2):31-36.
- [26] 齐振宇,王婷,桑康琪,等.设施番茄不同叶位补光对植株形态、光合及激素合成的影响[J].园艺学报,2021,48(8):1504-1516.
- [27] 宋羽,蒋程瑶,李玉珊.不同叶背补光模式对戈壁温室番茄品质的影响[J].新疆农业科学,2021,58(2):294-303.
- [28] 王瑞,马姣艳,吴倩,等.不同时段补光对日光温室番茄果实中矿质元素积累的影响[J].江苏农业科学,2020,48(19):125-129.