

基于层次分析法暖棚西瓜移栽期评价与选择

马英洁¹, 邵光灿¹, 张 芹², 王成玉¹, 申雨欣¹

¹昌乐县气象局, 山东 潍坊

²潍坊市气象局, 山东 潍坊

收稿日期: 2023年9月22日; 录用日期: 2023年10月20日; 发布日期: 2023年10月30日

摘 要

为筛选出昌乐暖棚西瓜的最佳移栽期和适宜移栽期, 采用层次分析法对开展的10期暖棚西瓜气象观测与创新种植试验, 进行综合评价。以气温、西瓜糖含量、口感、产量、生长日数、价格作为6个指标, 确定进行西瓜移栽期评价的3级10个评价因子, 建立其综合评价模型。根据评价结果, 将供试的十期西瓜移栽期分为5个等级, I级有第三移栽期, 为最佳移栽期。糖含量高, 口感非常好, 且产量较高, 价格高。II级有第五移栽期、第六移栽期、第七移栽期, 为适宜移栽期。糖含量和产量、价格均略低于第三期。III级有第一移栽期、第二移栽期、第四移栽期、第八移栽期, 为较适宜移栽期。糖含量普遍不高, 口感一般, 价格不高。IV级有第九移栽期, 为较不适宜移栽期。V级有第十移栽期, 为不适宜移栽期。综合分析认为, 昌乐暖棚西瓜最佳移栽时间为12月下旬, 适宜移栽时间为12月6日~1月15日。

关键词

温度, 西瓜, 层次分析法, 移栽期, 评价

Evaluation and Selection of Watermelon Transplanting Period in Warm Shed Based on Analytic Hierarchy Process

Yingjie Ma¹, Guangcan Shao¹, Qin Zhang², Chengyu Wang¹, Yuxin Shen¹

¹Changle Meteorological Bureau, Weifang Shandong

²Weifang Meteorological Bureau, Weifang Shandong

Received: Sep. 22nd, 2023; accepted: Oct. 20th, 2023; published: Oct. 30th, 2023

文章引用: 马英洁, 邵光灿, 张芹, 王成玉, 申雨欣. 基于层次分析法暖棚西瓜移栽期评价与选择[J]. 农业科学, 2023, 13(10): 971-977. DOI: 10.12677/hjas.2023.1310133

Abstract

In order to select the best and suitable transplanting period of watermelon in Changle warm shed, the meteorological observation and innovative planting experiments of 10 warm shed watermelons were comprehensively evaluated by using analytic hierarchy process (AHP). With temperature, sugar content, taste, yield, number of growing days and price as six indexes, 10 evaluation factors of 3 grades were determined for watermelon transplanting period evaluation, and the comprehensive evaluation model was established. According to the evaluation results, the ten phases of watermelon transplanting were divided into 5 grades. Grade I had the third transplanting period, which was the best transplanting period. The sugar content is high, the taste is very good, and the output is high and the price is high. The second grade has the fifth transplanting period, the sixth transplanting period and the seventh transplanting period, which is the suitable transplanting period. The sugar content, yield and price are slightly lower than the third phase. Grade III includes the first transplanting period, the second transplanting period, the fourth transplanting period and the eighth transplanting period, which is the most suitable transplanting period. The sugar content is generally not high, the taste is general, and the price is not high. Grade IV has the ninth transplanting period, which is less suitable for transplanting. Grade V has the tenth transplanting period, which is not suitable for transplanting. Comprehensive analysis showed that the best transplanting time of watermelon was late December, and the appropriate transplanting time was from December 6 to January 15.

Keywords

Watermelon, Analytic Hierarchy Process, Transplanting Period, Evaluate

Copyright © 2023 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. 引言

西瓜在世界 10 大水果中位居第 5 [1]。我国栽培总面积 180 hm² 以上,居世界首位[2]。山东省昌乐县是全国知名的西瓜主产区,昌乐西瓜栽培历史悠久,距今已有 200 年栽培历史。得天独厚的自然资源、气候资源和种植技术优势,造就了昌乐西瓜“早熟、皮薄、沙瓤、脆甜”的卓越品质,享有“天上甘露美,昌乐西瓜甜”的美誉。昌乐西瓜常年栽培面积 16 万亩,年产量 60 多万吨,产值超过 20 亿元[3],已成为昌乐特色富民产业,西瓜品牌价值达到 43.17 亿元,稳居全国西瓜品牌价值榜首位。近年来,昌乐西瓜产业化水平、品牌影响力进一步提升。昌乐西瓜先后被确定为全国名特优新产品、全国 100 个最具影响力农产品区域公用品牌,入选“中国农业品牌目录”。气候条件是造成农作物产量波动,左右农业丰歉的主要因素[4]。西瓜生长对气象条件较为敏感,尤其是与气温有着极为密切的关系,2021 年马英洁等[5]研究了冬暖式大棚西瓜品质与气象因素的相关性分析,2017 年瞿慧芳等[6]研究了主要气象因子对不同播期西瓜全生育期的影响,均发现热量条件即气温是影响西瓜生长发育的关键因素。近年来,有人对影响西瓜生长的气象条件进行了研究[7]-[16],但对西瓜适宜移栽期研究较少。随着现代农业的发展,昌乐设施保护栽培西瓜由一年一种走向了一年多种,对棚内小气候的调控技术提出了更高的要求。为充分发挥昌乐气候资源的优势,本文借助层次分析法[17],对前期开展的 10 期暖棚西瓜气象观测与创新种植试验进行综合分析评价,以期筛选出昌乐暖棚西瓜的最佳移栽期和适宜移栽期,进一步提高昌乐西

瓜品质和产量，促进西瓜产业发展。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验于 2019 年 1 月至 2021 年 7 月在昌乐县五图街道庵上湖村的西瓜暖棚进行，采取同一个大棚分区种植不同品种、分期移栽的方法，具体移栽期的时间间隔在一周到 2 个月不等，开展了 10 期西瓜气象观测与创新种植试验。供试西瓜品种为“2K”、拿比特、冰糖翠玉等，采用分区定位全发育期观测法，观测西瓜移栽时间、各发育期、叶面积、果横径和纵径、病虫害、管理措施、糖含量、重量、采摘、销售价格等情况。

2.2. 试验方法

2.2.1. 西瓜品质测定方法

每期对定点观测的 20 个西瓜进行定期测定，主要测量西瓜的裂瓜、空心、串瓢等情况，以及西瓜中心糖含量、边缘糖含量和单瓜重量、口感等。同时观测棚内的气温、湿度、地温等气象因素，尽管大棚西瓜主要受气温、湿度、光照等气象因素的影响，但气温是影响西瓜生长发育的关键因素[5]，因此，本文主要研究气温对西瓜的影响。文中糖含量采用西瓜中心糖含量计算，糖含量用手持式折光糖度计测量，均为西瓜采摘后测量。本文采用西瓜中心糖含量进行分析。

2.2.2. 评价方法

采用 Excel 和 SPSS 软件进行整理统计、层次分析法及图表制作。层次分析法是美国运筹学家 T.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代创立的一种系统分析与决策的综合评价方法[18]，能够通过对多指标决定的问题进行分析，以优先等级的形式对备选决策进行排序[19]。采用 1~9 比率标度法比较指标相对重要性，量化各项指标。

2.2.3. 评价层次结构的建立

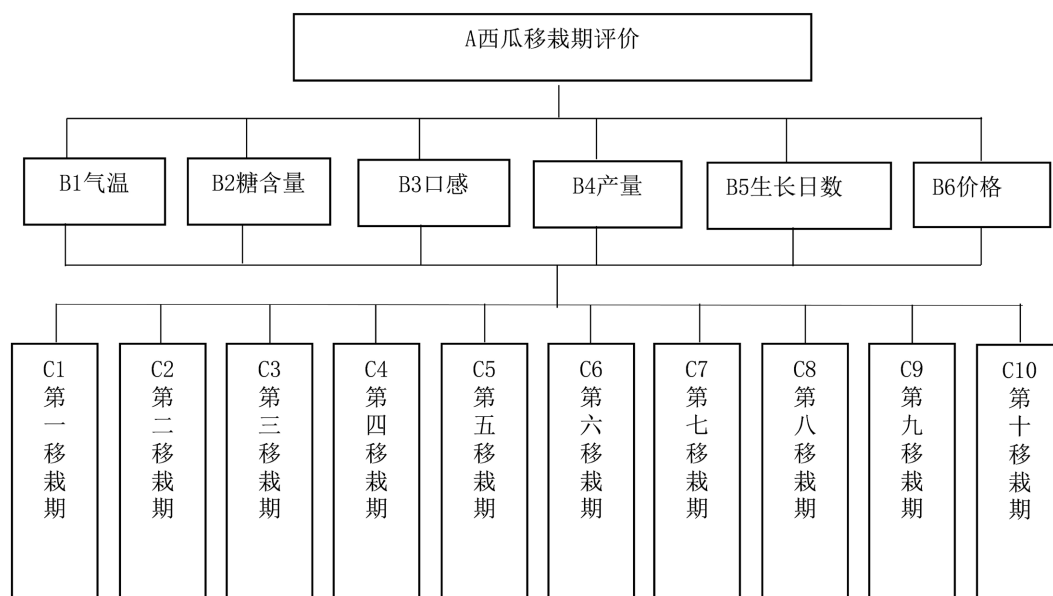


Figure 1. Hierarchical structure of watermelon during transplanting period

图 1. 西瓜移栽期层次结构图

收集和整理大量相关资料, 并以此作为参考和依据, 通过征求同行专家意见和集体讨论, 依据西瓜本身的特点, 选取影响西瓜综合价值的 6 项具体指标, 建立层次评价模型。模型共包括 3 层: A 为目标层; B 为约束层, 包括棚内气温、西瓜糖含量、口感、产量、生长日数、价格 6 个指标; C 为指标层, 共设置第一至第十期西瓜移栽期 10 个评价因子, 构成西瓜移栽期的 3 级层次分析法结构图。(如图 1 所示)。

3. 结果与分析

3.1. 西瓜移栽期综合评价体系赋分总排序

根据 1~9 比率标度法(见表 1), 通过因素之间两两比较来构建西瓜移栽期的判断矩阵。构造的判断矩阵有以下性质:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}$$

判断矩阵 A 中的元素应满足 $a_{ij} > 0$ 且 $a_{ij} \times a_{ji} = 1$, 同时 $a_{ii} = 1$ 。

Table 1. 1~9 Meanings of the scaling method

表 1. 1~9 标度法含义

标度 b_{ij}	含义
1	因素 i 与因素 j 同等重要
3	因素 i 比因素 j 稍微重要
5	因素 i 比因素 j 明显重要
7	因素 i 比因素 j 强烈重要
9	因素 i 比因素 j 极端重要
2, 4, 6, 8	因素 i 与因素 j 重要性的标度值介于上述两个相邻的等级之间
标度值的倒数	因素 i 与因素 j 的反比值, $b_{ji} = 1/b_{ij}$

根据公式计算一致性指标 CI [20]。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

式中: λ_{\max} 为该矩阵的最大特征值, n 为矩阵阶数。

再进行一致性检验, 公式如下:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

CR 为一致性比例[20]。当其值小于 0.1 时, 表明判断矩阵 A 通过一致性检验。

各指标的相对权重计算公式如下。

$$\text{计算每个指标的几何平均数[20]: } \omega_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{i,j}}, a_{i,j} \text{ 为判断矩阵的元素。} \tag{3}$$

$$\text{归一化处理[20]: } W_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, W_i \text{ 为每个指标的相对权重。} \tag{4}$$

得到西瓜移栽期的评价体系指标及层次总排序结果(见图 2)。由图 2 可知, 西瓜的约束层中的六大因子权重分别为气温 C1、西瓜糖含量 C2、口感 C3、产量 C4、生长日数 C5、价格 C6, 各因子的权重排序为 C2 (0.6136) > C1 (0.4942) > C3 (0.4715) > C6 (0.1661) > C4 (0.1583) > C5 (0.0894)。C2 的权重最大, 说

明西瓜糖含量在评价指标中占有较大的分量,是评价西瓜移栽期的最重要指标。气温是评价西瓜移栽期的重要指标,口感是次要指标。相比糖含量、气温、口感、价格,产量所占权重较小,是决定西瓜移栽期优劣的次次要指标。而生长日数所占权重最小,在决定西瓜移栽期优劣中作用最小。各指标层中,第三移栽期的指标层权重分别位于糖含量、口感、价格、气温指标层的首位,具体指标层权重依次为 0.6237、0.5562、0.4857、0.2649。其中,糖含量和口感在综合评价指标权重总排序中分别居于首位(0.4337)和第二位(0.4202)。第七移栽期的指标层权重位于产量指标层首位(0.5220),位于综合评价指标权重总排序第三位。第六移栽期的指标层权重位于生长日数指标层首位(0.4516)。

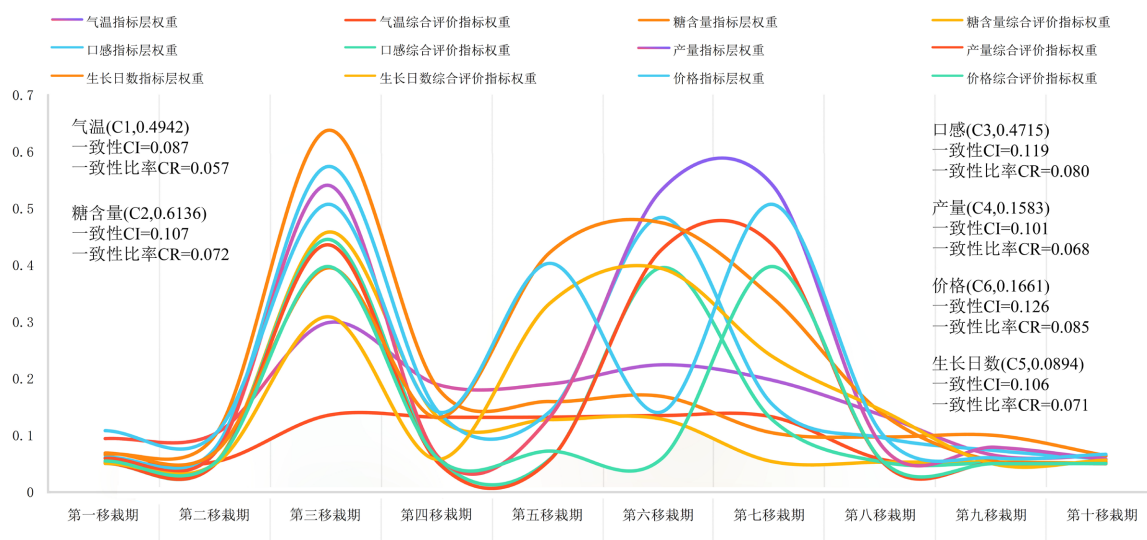


Figure 2. Weight values of each index in the comprehensive evaluation of watermelon transplanting period
图 2. 西瓜移栽期综合评价各指标权重值

3.2. 西瓜移栽期的综合得分及排序

根据制定的 5 分制评价标准(表 2),将各个移栽期的对应指标给予适当的分值,将各指标所得分值与权重值相乘,并将所有指标得到的数值相加,最终可以得到每一层的综合评价分值。为保证分析的合理性,对分析矩阵进行随机一致性比率 CR 的计算检验,由表 2 可知,6 个约束层指标 CR 均小于 0.1,说明本判断矩阵具有可接受的一致性。

Table 2. Grading criteria for evaluation indicators

表 2. 评价指标的赋分标准

指标	评分				
	5	4	3	2	1
气温($^{\circ}\text{C}$)	19.0~19.5	19.6~20.0	20.1~20.5	20.6~21.0	≥ 21.0
糖含量(%)	≥ 12.5	12.2~12.4	11.9~12.1	11.6~11.8	≤ 11.5
口感	十分脆甜 沙瓤	八分脆甜 沙瓤	六分脆甜 沙瓤	五分脆甜 沙瓤	四分脆甜 沙瓤
产量(Kg/hm^2)	≥ 40500.0	37500.0~40499.9	34500.0~37499.9	31500.0~34499.9	≤ 31499.9
生长日数(d)	≤ 100	101~110	111~120	121~130	≥ 131
价格(yuan/Kg)	≥ 40.0	35.0~39.9	30.0~34.9	25.0~29.9	≤ 24.9

Table 3. Comprehensive evaluation scores and grades of watermelon during transplanting period
表 3. 西瓜移栽期综合评价分值及其等级

移栽期	综合分值	等级
第一移栽期	3.33	III
第二移栽期	3.09	III
第三移栽期	4.36	I
第四移栽期	3.02	III
第五移栽期	3.87	II
第六移栽期	3.91	II
第七移栽期	3.51	II
第八移栽期	3.14	III
第九移栽期	2.73	IV
第十移栽期	2.44	V

注：分级标准为 $I \geq 4.00$, $3.50 \leq II < 4.00$, $3.00 \leq III < 3.50$, $2.50 \leq IV < 3.00$, $2.00 \leq V < 2.50$ 。

以综合评价分值为唯一指标，按照一定的标准，将西瓜的十期移栽期综合评价分值分为 5 个等级(表 3)。西瓜移栽期综合评价得分高低顺序为：第三移栽期 > 第六移栽期 > 第五移栽期 > 第七移栽期 > 第一移栽期 > 第八移栽期 > 第二移栽期 > 第四移栽期 > 第九移栽期 > 第十移栽期。根据西瓜移栽期的综合评价情况，共分成了 5 个等级，I 级有第三移栽期，为最佳适宜移栽期。此移栽期于 2019 年 12 月 25 日进行移栽，生产的西瓜平均糖含量 12.6%，糖含量高的达 14.8%，沙瓤、脆甜，口感非常好，且产量较高，同时因为上市早，价格达到每公斤 40 元，产生了非常好的经济效益和社会效益。II 级有第五、第六、第七移栽期，为适宜移栽期。第五移栽期和第六移栽期的移栽时间分别为 2020 年 1 月 9 日和 1 月 15 日，生产的西瓜糖含量和产量均略低于第三期，因为上市时间正处于西瓜销售旺季，价格每公斤 30 元左右，相对较低。第七移栽期的移栽时间为 2020 年 12 月 6 日，虽然上市时间早，价格高，但是糖含量较低，口感较差。III 级有第一、第二、第四、第八移栽期，为较适宜移栽期。第一移栽期和第四移栽期分别是 2019 年 1 月 1 日和 2020 年 1 月 1 日移栽，生长日数稍长，价格亦稍低。第二移栽期生长期平均气温最低，虽然糖含量可以，但产量低，却因为上市早，价格高。第八移栽期平均气温稍高，虽然产量较高，但糖含量低，口感较差，价格不高。IV 级有第九移栽期，为较不适宜移栽期。V 级有第十移栽期，为不适宜移栽期。第九和第十移栽期，分别于 2021 年 2 月 3 日和 4 月 16 日移栽，因为气温高，生长日数均少于其他移栽期，但糖含量均不高，相对口感较差，价格较低。

4. 讨论与结论

4.1. 讨论

西瓜喜高温干燥，耐热，极不耐寒，0~5℃时植株受冻，10℃停止生长[8]，适宜较高的温度和充足的日照条件，比较耐旱。通过大棚保护栽培，可以调控棚内的小气候满足西瓜对气象条件的需求。在西瓜生长发育期间，对温度要求较高，果实生长随温度升高而膨大，但温度过高也会影响产量和糖含量的增加。苗期，温度一般白天不高于 32℃，夜间不低于 15℃，温度 > 32℃，容易造成幼苗徒长，温度 < 15℃ 时容易发生植株生长缓慢、甚至停长等现象。伸蔓期，气温高于 33℃，易出现旺长，雌花不易催化，影响坐瓜；夜间气温低于 10℃ 时，西瓜的正常生长就会受到抑制，发育迟缓，造成伸蔓期延长，影响上市

期。第四期和第八期发生旺长现象较为明显。在果实膨大与糖分转化的积累期,白天温度升高,夜间温度降低有利于果实膨大,重量增加,且日温差越大,越有利于糖分积累,含糖率提升。但温度也不宜太高,温度 > 35℃增加了有机物消耗,不利于糖分增加,且易造成栓化,影响口感。同时,日温差过大,容易发生裂瓜现象。第一移栽期和第二移栽期发生裂瓜现象明显。成熟期最高温度 > 38℃,同时湿度较大,容易发生串瓢现象。第十期移栽的西瓜因7月份成熟,出现高温高湿天气,导致部分西瓜串瓢。

4.2. 结论

本研究采用层次分析法对昌乐暖棚西瓜移栽期应用性进行评价。通过定量与定性分析,得到其综合应用价值排序,将西瓜10期移栽期分为5个等级,科学系统地评价并筛选出适宜移栽期,消除了因偶然因素造成的认识上的差异,使各个分析指标的加权值能够更加客观合理[21],可以较全面、较客观地反映昌乐西瓜移栽期的应用价值。筛选出适合昌乐的暖棚西瓜最佳移栽期为第三移栽期,适宜移栽期为第五移栽期、第六移栽期、第七移栽期,即最佳移栽时间在12月下旬,适宜移栽时间为12月6日~1月15日,这与西瓜生产过程中的实际情况极为相符。本研究能够为昌乐暖棚西瓜移栽期的选择及其在周边地区的推广应用提供参考依据。

参考文献

- [1] 刘君璞, 马跃. 中国西瓜甜瓜发展70年暨科研生产协作60年回顾与展望[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(8): 1-8.
- [2] 王鸣. 我国西瓜育种的进展(上)[J]. 西北园艺, 2003(3): 6-8.
- [3] 马英洁, 张爱玲, 吴冠楠, 等. 基于灰色关联分析的温度对不同播期西瓜品质的影响[J]. 农业科学, 2012, 40(15): 8636-8638.
- [4] 王二虎, 孙欣. 西瓜产量与气象因素的灰色关联度分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(15): 8636-8638.
- [5] 马英洁, 张爱玲, 臧海光, 等. 冬暖式大棚西瓜品质与气象因素的相关性分析[J]. 农业科技通讯, 2020(9): 85-91.
- [6] 訾慧芳, 闫长伟, 王志鹏, 等. 主要气象因子对不同播期西瓜全生育期的影响[J]. 新疆农垦科技, 2017(9): 22-24.
- [7] 顾品强. 气候因素对西瓜生长发育及产量构成的影响[J]. 中国农业气象, 1989, 10(1): 22-25.
- [8] 马英洁, 张爱玲, 秦涛, 等. 影响昌乐大棚西瓜生长的气象因素分析及对策[J]. 农业开发与装备, 2013(5): 74-75.
- [9] 李丹, 李黎, 罗云凯. 盖州市大棚西瓜生长的气象因素分析及对策[J]. 农民致富之友, 2017(9): 246.
- [10] 焦仁庆, 赵新礼. 气候因素对开封西瓜产量和品质的影响[J]. 现代农业科学, 2006, 16(2): 44-45.
- [11] 李海凤. 早春大拱棚西瓜种植气象条件分析及灾害防御对策[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(28): 173-174.
- [12] 余优森, 方德彪. 我国西瓜产区品质气候资源分析[J]. 气象, 1989, 15(7): 54-57.
- [13] 胡春丽, 王婉昭, 刘东明, 等. 小梁山西瓜气候品质评价技术方法及应用[J]. 江西农业学报, 2021, 33(4): 118-122.
- [14] 吴成东, 闫丽娟. 西瓜栽培与气象因素[J]. 黑龙江气象, 2010, 27(2): 28-29.
- [15] 薛正平. 西瓜产量与气候条件关系的研究[J]. 中国西瓜甜瓜, 1988(1): 44-46.
- [16] 劳秀娟, 曹伟波. 灵山西瓜种植气候条件分析[J]. 广西农学报, 2008, 23(3): 62-63.
- [17] Saaty, T.L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, **15**, 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- [18] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- [19] 吕棚棚, 毕远杰, 孔晓燕, 等. 基于模糊层次的微咸水滴灌西葫芦的最优灌水方案研究[J]. 节水灌溉, 2020(1): 19-24.
- [20] 费智聪. 熵权-层次分析法与灰色-层次分析法研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009.
- [21] 孙明, 李萍, 张启翔. 基于层次分析法的地被菊品系综合评价研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(3): 177-181.