果 树 学 报 2026,43(3):569-577
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250374

基于隶属函数法和VIKOR法的梨轻简化树形适宜品种综合评价

闫 帅[1],相丛超[2],李冰莹[3],赵亮亮[1],彭 垲[1],徐功勋[1],赵德英[1*],曹玉芬[1*]

([1]中国农业科学院果树研究所•农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室•辽宁省落叶果树矿质营养与肥料高效利用重点实验室,辽宁兴城 125100;[2]石家庄市农林科学研究院,石家庄 050000;[3]兴城市现代农业发展服务中心,辽宁兴城 125100)

摘 要:【目的】探明适宜‘双臂顺行式’棚架轻简化栽培的优良梨品种,实现良种良法配套。**【方法】**以长江中下游产区采用的‘双臂顺行式’棚架栽培的代表性梨园的17个品种为研究对象,调查分析不同品种生长结果特性和果实品质指标差异,利用隶属函数法和VIKOR法对不同品种在‘双臂顺行式’棚架栽培下生长结果及果实品质进行综合评价。**【结果】**‘双臂顺行式’棚架栽培模式下不同品种成枝力、长枝比例、产量、结果枝数、固酸比、可滴定酸含量、果肉细度和耐咀嚼性8个指标变异系数较大,差异化明显;隶属函数法综合评价值在0.70以上的梨品种有4个:丰水、圆黄、翠冠、玉绿,鄂梨2号综合评价值略低,为0.691;通过VIKOR法评价可知,早果性的权重值最大,为19.3%,中短枝比率权重最小,为2.3%,综合排名前5位的是丰水、圆黄、翠冠、玉绿、鄂梨2号。**【结论】**隶属函数法与VIKOR法均可作为树形和品种适宜性综合评价的方法;丰水、圆黄、翠冠、玉绿,鄂梨2号可作为长江中下游产区适宜‘双臂顺行式’棚架栽培的优良品种。

关键词:梨;隶属函数法;VIKOR法;树形;品种;综合评价

中图分类号:S661.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)03-0569-09

Comprehensive evaluation of labor-saving tree shapes and varieties of pear based on the Affiliation Function and VIKOR methods

YAN Shuai[1], XIANG Congchao[2], LI Bingying[3], ZHAO Liangliang[1], PENG Kai[1], XU Gongxun[1], ZHAO Deying[1*], CAO Yufen[1*]

([1]Reserch Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Germplasm Resources Utilization of Horticulture Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Mineral Nutrition and Efficient Fertilization for Deciduous Fruits of Liaoning Province, Xingcheng 125100, Liaoning, China; [2]Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050000, Hebei, China; [3]Xingcheng Modern Agricultural Development Service Center, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

Abstract:【Objective**】** Labor-saving and simplified cultivation is an inevitable trend for fruit tree development. The tree shapes and varieties directly affect the establishment of the orchards and the production outcome. The production process is characterised by the quality of the varieties and the efficacy of the tree shapes. However, discrepancies in the process may result in suboptimal orchards establishment, and instances of failure are not uncommon. Therefore, the establishment of a system for the evaluation of tree shape and variety is imperative. The double arm parallel trellis cultivation system offers significant advantages in fruit quality, labor savings, and mechanization, making it one of the most rapidly adopted pear cultivation models in the middle and lower reaches of the Yangtze River. This study aims to fill existing literature gaps by systematically identifying pear varieties suitable for double-arm parallel trellis cultivation. Research indicates no prior variety screening studies specifically targeting this cultivation model. To identify superior varieties suitable for labor-saving, simplified cultivation under dou-

收稿日期:2025-07-02 **接受日期:**2025-09-23

基金项目:国家现代梨产业技术体系建设专项(CARS-28-01);国家现代农业产业技术体系辽宁创新团队;辽宁省科技攻关专项(2023JH1/10400036);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP)

作者简介:闫帅,男,助理研究员,研究方向为果树栽培与生理。Tel:0429-3598156,E-mail:yanshuai@caas.cn

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:caoyufen@caas.cn;E-mail:zhaodeying@caas.cn

ble-arm parallel trellis systems, matching high-quality varieties with labor-saving tree forms is crucial.【Methods】In the present study, 17 varieties of pear orchards cultivated with the double arm parallel trellis cultivation mode in the middle and lower reaches of Yangtze River production areas were selected as the primary research objects. The differences in growth, fruiting characteristics and fruit quality indexes of different varieties were investigated. Subsequently, the growth and fruit quality of different varieties were evaluated under the double arm parallel trellis cultivation mode using the affiliation function method and VIKOR method. In the context of optimal tree growth and fruiting conditions, shorter new shoot length, reduced crown width (both east-west and north-south), decreased tree height, and a later onset of fruiting were more conducive to the management of orchard cultivation in a simplified manner. The hypothesis that reduced chew resistance is indicative of superior taste is one of that merits further investigation. Therefore, a comprehensive evaluation was conducted by the reciprocals of the aforementioned indicators. To ensure the accuracy of the assessment results, we employed the correlation function method to select 20 comprehensive evaluation indicators, including 1/new shoot length, germination rate, branching capacity, 1/canopy width (east-west), 1/canopy width (north-south), number of fruiting branches, short and medium branches ratio, long branches ratio, 1/early fruiting, yield, single fruit weight, total soluble solids, titratable acid, total soluble solids/titratable acid content (TSS/TA), vitamin C content, flesh firmness, flesh fineness, reversibility, 1/chewability and brittleness.【Results】It is evident that various varieties display marked variations in growth characteristics when cultivated within the double arm parallel trellis system, with the coefficient of variation for the parameters of long shoot ratio, branching capacity, yield, and number of fruiting shoot clusters all exceeding 35%. The coefficients of variation of eight indexes, namely branching ability, long branching ratio, yield, number of fruiting branches, TSS/TA, titratable acid content, flesh fineness and chewability, were large and differentiated among different varieties under the double arm parallel trellis cultivation mode. The utilisation of the affiliation function method resulted in a comprehensive evaluation value greater than 0.70. The four pear cultivars identified were Housui, Wonhwang, Cuiguan and Yulü. The Eli No. 2 evaluation yielded a value of 0.691, which was in close proximity to 0.70. A comprehensive evaluation value below 0.6 was observed in four pear varieties: Zaojinsu, Zhongli No. 1, Zhongli No. 4, and Zaosumi. In addition, the aforementioned five varieties were to be considered the most highly ranked. The application of the VIKOR method to the evaluation process indicated that the weight value assigned to early fruiting is 19.3%, representing the largest proportion. In contrast, the weight allocated to the ratio of short and medium branches was the smallest, at 2.3%. The remaining indicators fell within the intermediate range. The top five in the comprehensive ranking were Housui, Wonhwang, Cuiguan, Yulü and Eli No. 2.【Conclusion】It is evident that both the affiliation function method and the VIKOR method are forms of comprehensive evaluation of multiple indicators through weight changes. These methods have been widely utilised in other areas. The comprehensive evaluation rankings obtained by the affiliation function method and the VIKOR method are essentially equivalen, indicating that both methods can be employed for comprehensive evaluation of tree shapes and determining the suitability of different varieties. In the middle and lower reaches of the Yangtze River, the double-arm parallel trellis enables labor-saving and simplified cultivation of pear varieties of Housui, Wonhwang, Cuiguan, Yulü and Eli No. 2. Variety adaptability evaluation is a long-term process that requires commitment and dedication. Further research and verification are needed to determine the suitability of other tested varieties.

Key words: Pear; Affiliation Function method; VIKOR method; Tree shape; Variety; Comprehensive evaluation

梨是我国第三大果树，栽培面积和产量均位居世界首位。作为劳动密集型产业，传统梨果生产管理过程中需要投入大量的人力和物力，随着果园有效劳动力不断减少，实现梨果生产的轻简化已成为梨产业高质量发展亟待解决的难题[1]。

轻简化树形的研发和应用是实现果园省力化管理的重要途径之一。自新中国成立以来，我国学者创制了多种轻简化栽培树形来替代传统大冠疏散分层形树形，包括圆柱形[2]、“3+1”形[3]、‘双臂顺行式’棚架栽培[4]等，这些树形在生产上的推广应用有效减少了人工的投入，促使日常管理的机械化水平提高，同时也带来产量和品质的双重提升。品种是影响轻简高效栽培的另一个重要因素，由于品种遗传背景差异，不同品种在同一树形下的生长与结果存在较大差异[5]。在树形和品种评价方面，兗攀等[6]通过评价5种树形的光合效应，明确了细长纺锤形是适宜库尔勒香梨的高光效树形。刘珊珊[7]通过研究不同树形对梨冠层结构、光合特性和果实品质的影响，明确了早酥梨、黄冠梨、长把梨等品种适宜的树形。Zhao等[8]通过对不同树形光合和果实品质评价，明确了早酥梨的适宜树形为单臂和双臂棚架。综上可知，目前关于树形和品种评价更多关注某一品种在不同树形下光合效率和品质的差异，对于同一树形下不同品种的生长结果和果实品质综合评价却鲜有报道。生产上因为良种良法不配套导致建园效果差甚至失败屡见不鲜，因此开展树形和品种多维度综合评价显得尤为重要。

‘双臂顺行式’棚架是一种新型棚架栽培模式，采用该栽培模式，树体冠层分布均匀一致，光合效率增强，果实品质显著提高，目前已在我国多个梨产区开始进行示范和推广[9]。但目前适宜‘双臂顺行式’棚架轻简化栽培新优品种的筛选评价工作未见报道。鉴于此，笔者所在团队以长江中下游产区采用的‘双臂顺行式’棚架栽培代表性梨园为调查对象，对不同品种生长结果特性及果实品质进行调查分析，并通过隶属函数法和VIKOR法进行综合评价，以期明确长江中下游产区适宜‘双臂顺行式’棚架轻简化栽培模式的优良品种，为实现良种良法配套提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　调查对象及内容

2023年对湖北省3个采用‘双臂顺行式’棚架栽培的代表性梨园内17个品种进行调查研究，要求果园土壤肥力水平相近，基本情况见表1。调查过程中，每个品种随机选择树冠外围斜生且已停长的10根新梢测量长度、萌芽率、成枝力、早果性。根据《梨种质资源描述规范和数据标准》[10]进行调查；每个果园随机选3株树，单株重复，用卷尺测量树高和冠幅，确定长枝、中枝、短枝数量，单株结果量。于不同梨品种的果实成熟期采集对应树体上果实样品，分东西南北4个方向，每个方向选取树冠中部果实2个，具体采样时间详见表2。所有调查数据均取平均值作为最终数值。产量=每667 m^{2}定植株数×单株结果量×平均单果质量。

表1　调查果园基本情况

Table 1　Basic conditions of surveyed orchards

地点 Site	树龄 Tree age/a	株行距 Row space/m	品种 Variety
湖北省武汉市 Wuhan, Hubei	12	4.0×4.0	丰水、圆黄、鄂梨2号、翠冠、玉绿 Housui, Wonhwang, Eli No.2, Cuiguan, Yulü
湖北省仙桃市 Xiantao, Hubei	11	4.0×4.0	圆黄、翠冠 Wonhwang, Cuiguan
湖北省老河口市 Laohekou, Hubei	10	4.0×4.0	若光、秋月、晚秀、早金酥、玉香、翠玉、中梨1号、中梨4号、玉露香、早酥红、红香酥、早酥蜜 Wakahikari, Akizuki, Mansoo, Zaojinsu, Yuxiang, Cuiyu, Zhongli No.1, Zhongli No.4, Yuluxiang, Zaosuhong, Hongxiangsu, Zaosumi

1.2　方法

1.2.1　单果质量测定　每个品种随机选择10个果实用电子天平测定单果质量，取平均值为最终测定值。

1.2.2　可溶性固形物、可滴定酸和维生素C含量测定　将每个品种剩余梨果实随机选择12个，分成3组，利用匀速榨汁机榨汁，测定可溶性固形物含量，然后取3.0 g果汁利用酸碱自动滴定仪（905型，瑞士万通公司）测定可滴定酸含量；每个品种随机选择9个果实，分成3组，每组取100 g果肉+草酸匀浆后测定维生素C含量。

1.2.3　质地品质测定　每个品种随机选择6个果

表 2 不同梨品种采样日期

Table 2 Sampling dates for different pear varieties

地点 Site	品种 Variety	采样日期（月/日） Sampling date (month/day)
湖北省武汉市 Wuhan, Hubei	丰水 Housui	08-20
	圆黄 Wonhwang	08-07
	鄂梨2号、翠冠、玉绿 Eli No.2, Cuiguan, Yulü	07-14
湖北省仙桃市 Xiantao, Hubei	圆黄 Wonhwang	08-07
	翠冠 Cuiguan	07-14
湖北省老河口市 Laohekou, Hubei	若光、翠玉、中梨1号、中梨4号、早酥蜜 Wakahikari, Cuiyu, Zhongli No.1, Zhongli No.4, Zaosumi	07-10
	秋月 Akizuki	08-20
	早金酥、玉香、玉露香、早酥红、红香酥 Zaojinsu, Yuxiang, Yuluxiang, Zaosuhong, Hongxiangsu	08-05
	晚秀 Mansoo	09-05

实，利用物性分析仪（TA. HD. Plus，英国）进行穿刺和TPA（质地剖面分析）测定，每个梨穿刺和TPA分析选择沿赤道方向两个对称位置，取平均值作为最终测定值。

1.3 数据分析

在树体正常生长结果情况下，新梢长度、冠幅（东西）、冠幅（南北）、树高、早果性越小则更有利于果园轻简化栽培管理，耐咀嚼性越小理论上口感更佳，因此对上述指标取倒数，分别利用隶属函数法[11]和VIKOR法[12]对以下20个生长结果指标进行综合评价，包括1/新梢长度、萌芽率、成枝力、结果枝数、1/冠幅（东西）、1/冠幅（南北）、1/树高、中短枝比例、长枝比例、1/早果性、产量、单果质量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、维生素C含量、果肉硬度、果肉细度、1/耐咀嚼性和回复性。采用 Microsoft Excel 2007和SPSS 20进行试验数据的整理和分析。

2 结果与分析

2.1 ‘双臂顺行式’棚架栽培模式下不同品种生长结果特性差异分析

由表3可以看出，不同品种在‘双臂顺行式’棚架栽培模式下生长特性存在较大差异，长枝比例、成枝力、产量、结果枝数的变异系数均在35%以上。所有品种新梢长度介于40.67~84.90 cm之间，萌芽率分布于62.10%~97.62%之间，成枝力介于1.00~4.28之间。不同品种的长枝比例差异最为明显，最大值为44.55%，最小值仅为9.24%。中短枝比例方面，早酥蜜的比例最低，仅为55.45%，中梨4号的中短枝比例最高，为90.76%，其余品种中短枝比例均介于两者之间。不同品种采用该模式基本从第3年或第4年开始结果。所有调查果园均已进入盛果期，不同品种采用

表 3 不同品种生长结果状况

Table 3 Growth and fruiting status of different varieties

参数 Parameter	新梢长度 Shoot length/cm	萌芽率 Germination rate/%	成枝力 Branching ability	结果枝数 Fruit-bearing branch number	东西冠幅 Crown width (east-west)/m	南北冠幅 Crown width (north-south)/m	中短枝比例 Medium and short branch ratio/%	长枝比例 Long branch ratio/%	早果性 Early fruiting	产量 Yield/（kg·666.7 m^{-2}）
最大值 Maximum value	84.90	97.62	4.28	31.00	4.14	4.32	90.76	44.55	4.00	4 000.00
最小值 Minimum value	40.67	62.10	1.00	12.00	2.13	2.73	55.45	9.24	3.00	1 100.00
平均值 Average value	62.53	83.49	1.99	19.18	3.09	3.44	77.17	23.41	3.71	2 150.00
标准差 Standard deviation	11.47	11.06	0.90	6.78	0.47	0.44	10.69	11.01	0.47	853.67
变异系数 *CV*/%	18.34	13.25	44.98	35.33	15.37	12.86	13.85	47.04	12.67	39.71

‘双臂顺行式’栽培的产量存在较大差异，其中最高为4000 kg·666.7 m^{-2}，最低仅为1100 kg·666.7 m^{-2}。

2.2　‘双臂顺行式’棚架栽培模式下不同品种果实品质分析

由表4可知，不同品种在‘双臂顺行式’棚架栽培模式下品质存在较大差异，单果质量介于189.40~488.70 g之间，不同品种总可溶性固形物含量介于10.20%~14.70%之间，均值为12.18%。可滴定酸含量差异较大，最小值仅为0.05%，最大值为0.15%。固酸比差异最大，变异系数为40.17%，介于72.86~224.07之间。不同品种果实维生素C含量介于2.64~5.47 mg·100 g^{-1}，果肉硬度介于166.95~335.12 g之间。果肉脆性最高测定值达到7 584.16 g，最低仅为3 450.43 g，其余品种脆性均介于两者之间。不同品种间果肉细度差异较大，最小值仅为3.16，最大值可达10.63。不同品种果肉回复性介于0.53~0.69之间。耐咀嚼性差异较大，最小值仅为105.12，最大值可达591.97。

表4　果园中不同品种果实品质状况

Table 4　Fruit quality of different varieties in orchards

参数 Parameter	单果质量 Single fruit mass/g	*w*（总可溶性固形物） Total soluble solids content/%	*w*（可滴定酸） Titratable acid content/%	固酸比 TSS/TA	*w*（维生素C） Vitamin C content/（mg·100 g^{-1}）	果肉硬度 Flesh firmness/g	脆性 Brittleness/g	果肉细度 Flesh fineness	回复性 Reversibility	耐咀嚼性 Chewability
最大值 Maximum value	488.70	14.70	0.15	224.07	5.47	335.12	7 584.16	10.63	0.69	591.97
最小值 Minimum value	189.40	10.20	0.05	72.86	2.64	166.95	3 450.43	3.16	0.53	105.12
平均值 Average value	298.01	12.18	0.10	135.22	3.62	231.97	5 308.92	6.60	0.61	300.39
标准差 Standard deviation	72.92	1.26	0.03	54.32	0.90	47.77	1 076.63	2.45	0.05	119.12
变异系数 *CV*/%	24.47	10.35	34.03	40.17	24.79	20.59	20.28	37.15	7.61	39.66

2.3　隶属函数法综合评价

由表5可知，采用‘双臂顺行式’棚架栽培后各品种综合评价值低于0.6的品种有4个：早金酥、中梨1号、中梨4号、早酥蜜。综合评价值介于0.60~0.70之间的品种有9个，根据综合评价值由高到低依次为鄂梨2号、晚秀、秋月、红香酥、玉露香、玉香、翠玉、早酥红、若光，其中鄂梨2号的综合评价值达到0.691。综合评价值在0.70以上的品种有4个：丰水、圆黄、翠冠和玉绿，其中丰水的综合评价值最高，达到0.787。综合不同品种在‘双臂顺行式’栽培模式下生长结果、产量、品质综合表现和排名，丰水、圆黄、翠冠、玉绿、鄂梨2号5个梨品种在‘双臂顺行式’栽培模式下综合表现优良，可作为适宜‘双臂顺行式’棚架轻简化栽培的优良品种。

2.4　VIKOR法综合评价

多准则妥协解排序法基本过程为：首先计算评价对象总的最优解和最差解，然后比较各评价对象与最优解和最差解之间的距离大小来确定评价对象的排序，进而获得待评价对象的优劣级别，常与熵权法结合使用。由表6可知，基于熵权法的权重计算结果显示，20个评价指标权重最大值为早果性，为19.3%，最小值为中短枝比例，仅为2.3%。

根据多准则妥协解排序法的计算规则（表7），群体效用值（*S*）为各个评价方案到最优方案的加权距离，其值越小越好，越小说明群体效应越大；个体遗憾值（*R*）为各个评价方案到最优方案的加权距离，其值越小越好，越小说明个体遗憾越小；根据群体效用值与个体遗憾值的结果，在此基础上计算决策指标*Q*值，*Q*值越小方案越优，最终得到排序。由表8可知，排名前5的梨品种依次为丰水、圆黄、翠冠、玉绿、鄂梨2号。

3　讨　论

轻简化树形合理的树相指标是树体结构稳定的基础。新梢长度直接反映树体长势，与冠幅大小紧密相关，萌芽率和成枝力对于树形的培养、枝组的更新尤为重要，长、中、短枝比例与冠幅、产量紧密相关，主枝上的结果枝组数是关乎盛果期产量的重要

表 5　不同品种隶属函数值及综合评价

Table 5　Value of affiliation function and comprehensive evaluation of different varieties

品种 Variety	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}	综合评价值 Comprehensive evaluation value	排名 Rank
翠冠 Cuiguan	0.02	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	0.03	0.04	0.14	0.04	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.729	3
秋月 Akizuki	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.641	7
中梨 1 号 Zhongli No.1	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03	0.07	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.585	15
中梨 4 号 Zhongli No.4	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.578	16
早酥蜜 Zaosumi	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.559	17
玉露香 Yuluxiang	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.621	9
红香酥 Hongxiangsu	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.627	8
翠玉 Cuiyu	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.05	0.02	0.01	0.03	0.03	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.614	11
早金酥 Zaojinsu	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.583	14
早酥红 Zaosuhong	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.05	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.613	12
晚秀 Mansoo	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.02	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.671	6
若光 Wakahikari	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.603	13
玉香 Yuxiang	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.619	10
鄂梨 2 号 Eli No. 2	0.03	0.04	0.04	0.06	0.01	0.02	0.02	0.04	0.14	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.691	5
圆黄 Wonhwang	0.02	0.03	0.03	0.06	0.01	0.02	0.02	0.04	0.14	0.05	0.03	0.03	0.05	0.04	0.02	0.04	0.05	0.02	0.03	0.02	0.752	2
玉绿 Yulü	0.02	0.04	0.03	0.07	0.01	0.02	0.03	0.04	0.14	0.04	0.02	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.706	4
丰水 Housui	0.01	0.04	0.05	0.06	0.01	0.01	0.03	0.04	0.14	0.04	0.02	0.04	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.787	1

注：I_1~I_{20} 分别代表 1/新梢长度、萌芽率、成枝力、1/冠幅（东西）、1/冠幅（南北）、结果枝数、中短枝比例、长枝比例、1/早果性、产量、单果质量、总可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、维生素 C 含量、果肉硬度、细度、回复性、1/耐咀嚼性、脆性。

Note: I_1–I_{20} represent 1/new shoot length, germination rate, branching ability, 1/canopy width (east-west), 1/canopy width (north-south), number of fruiting branch, short and medium branches ratio, long branches ratio, 1/early fruiting, yield, single fruit mass, total soluble solids content, titratable acid content, TSS/TA, vitamin C content , flesh firmness, flesh fineness, reversibility, 1/chewability, brittleness, respectively.

表 6　不同评价指标权重值

Table 6　Weight value of different evaluation indicators

指标 Index	熵值 Entropy value	信息效用值 Information utility value	权重值 Weight value/%
新梢长度 New shoot length	0.919	0.081	3.6
萌芽率 Germination rate	0.944	0.056	2.5
成枝力 Branching ability	0.857	0.143	6.4
结果枝数 Number of fruiting branch	0.859	0.141	6.3
冠幅（东西）Canopy width (east-west)	0.938	0.062	2.8
冠幅（南北）Canopy width (north-south)	0.931	0.069	3.1
中短枝比例 Short and medium branches ratio	0.949	0.051	2.3
长枝比例 Long branches ratio	0.879	0.121	5.4
早果性 Early fruiting	0.568	0.432	19.3
产量 Yield	0.891	0.109	4.9
单果质量 Single fruit mass	0.920	0.080	3.5
总可溶性固形物含量 Total soluble solids content	0.919	0.081	3.6
可滴定酸含量 Titratable acid content	0.893	0.107	4.8
固酸比 TAA/TA	0.860	0.140	6.2
维生素C含量 Vitamin C content	0.867	0.133	5.9
果肉硬度 Flesh firmness	0.911	0.089	4.0
果肉细度 Flesh fineness	0.900	0.100	4.4
回复性 Reversibility	0.931	0.069	3.1
耐咀嚼性 Chewability	0.883	0.117	5.2
脆性 Brittleness	0.937	0.063	2.8

表 7　群体效用值（*S*）和个体遗憾值（*R*）的最优值和最劣值

Table 7　Optimal and worst value of group utility value (*S*) and individual regret value (*R*)

参数 Parameter	*S*+（S值的最优值） *S*+(optimal value of S)	*S*-（S值的最劣值） *S*-(worst value of S-value)	*R*+（R值的最优值） *R*+(optimal value of R)	*R*-（R值的最劣值） *R*-(worst value of R-value)	决策机制系数 Decision-making mechanism factor
数值 Value	0.362	0.743	0.05	0.193	0.5

表 8　基于 VIKOR 法各样本综合评价排序

Table 8　Comprehensive evaluation ranking of each sample based on the VIKOR method

品种 Variety	群体效应值(*S*) Cohort effect value (*S*)	个体遗憾值(*R*) Individual Regrets (*R*)	利益比率值(*Q*) Benefit ratio value (*Q*)	排序 Rank
翠冠 Cuiguan	0.431	0.050	0.089	3
秋月 Akizuki	0.674	0.193	0.909	7
中梨1号 Zhongli No.1	0.743	0.193	1.000	17
中梨4号 Zhongli No.4	0.696	0.193	0.939	13
早酥蜜 Zaosumi	0.703	0.193	0.948	15
玉露香 Yuluxiang	0.674	0.193	0.910	8
红香酥 Hongxiangsu	0.678	0.193	0.915	9
翠玉 Cuiyu	0.694	0.193	0.936	12
早金酥 Zaojinsu	0.717	0.193	0.966	16
早酥红 Zaosuhong	0.688	0.193	0.928	11
晚秀 Mansoo	0.657	0.193	0.888	6
若光 Wakahikari	0.701	0.193	0.945	14
玉香 Yuxiang	0.687	0.193	0.927	10
鄂梨2号 Eli No.2	0.481	0.059	0.188	5
圆黄 Wonhwang	0.387	0.056	0.052	2
玉绿 Yulü	0.466	0.062	0.179	4
丰水 Housui	0.362	0.053	0.010	1

指标，产量的高低又会影响果树长势。综上可知，新梢长度、萌芽率、成枝力、冠幅、结果枝数量、长枝和中短枝比例、产量等指标交互影响，需要综合考量。除了生长结果特性外，果实品质也是树形与品种评价的重要内容之一，糖酸品质最为重要，因为它是影响果实口感的最大因素，决定果实的商品价值，是品质评价过程中不可或缺的[13-16]。此外，质地品质近年来也越来越受到重视，它是果肉类型的重要评判依据，也会影响果实食用品质[17-18]。

隶属函数法能综合考量多个指标的影响，在植物抗性、品种品质评价等方面广泛应用，笔者团队前期通过隶属函数法从生长结果角度评价了树形与品种的适配性[14，19]，表明该方法可以作为树形评价的重要方法之一。多准则妥协解排序法（VIKOR法）是另一种多指标综合评价方法，本研究结果表明，两种综合评价方法获得的综合评价结果基本相同，表明两种方法在树形评价中的可行性，也为筛选适宜轻简化树形的优良品种提供了新思路。

棚架栽培是现代果树的重要栽培模式之一。起初主要目的是防止台风危害，随着研究的深入，发现与其他栽培树形相比，棚架栽培可以显著改善冠层结构，提升光合效率和果实综合品质[20-21]。“双臂顺行式”棚架栽培克服了传统棚架栽培主干低、上架难等缺点，已成为长江流域代表性轻简化树形之一[22]。品种特性对该树形的快速成型和稳定具有重要影响，彭曼君等[23]研究表明，翠冠、鄂梨2号是适合棚架栽培的品种，与本研究结果一致，进一步验证了综合评价结果的准确性。姜晓艳等[24]研究发现，早金酥采用V形和圆柱形表现要优于棚架树形，棚架栽培并不是其最适宜的轻简化树形，与本研究结果一致。本研究证明了两种评价方法在树形适宜品种评价方面的可行性，但除了营养水平，其他生产管理技术也会显著影响树体生长发育和果实品质，如整形修剪等。

4 结 论

采用隶属函数法综合评价排名前5的梨品种依次为丰水、圆黄、翠冠、玉绿、鄂梨2号，与VIKOR法的排名结果一致，表明两者均可以作为树形和品种综合评价的方法。品种适应性评价是一个长期的过程，基于本试验研究，丰水、圆黄、翠冠、玉绿、鄂梨2号可作为长江中下游产区适宜‘双臂顺行式’棚架栽培的优良品种，其他供试品种是否适宜尚需要进一步研究验证。

致谢：感谢国家现代梨产业技术体系树体管理岗位和襄阳市现代农业事物服务中心对本团队工作给予的支持。

参考文献 References:

[1] 赵明新 . 西北干旱区梨树轻简化树形生态适应性及生产性能评价研究[D]. 兰州：甘肃农业大学，2024.
ZHAO Mingxin. Evaluation of ecological adaptability and production performance of light simplified tree form of pear tree in Northwest Arid Zone of China[D]. Lanzhou：Gansu Agricultural University，2024.

[2] 杨馥霞，乔进春，张玉星，朱梅玲 . 密植圆柱形梨盛果期树相指标及光照特性分析[J]. 河北农业大学学报，2013，36(3)：39-44.
YANG Fuxia，QIAO Jinchun，ZHANG Yuxing，ZHU Meiling. Study on the tree-structure indexes and light characteristics of full bearing trees with a pillar system in a high-density pear orchard[J]. Journal of Agricultural University of Hebei，2013，36(3)：39-44.

[3] 伍涛，张绍铃 . 一种适宜砂梨栽培的高光效树形：“3 加 1”树形[J]. 中国南方果树，2011，40(6)：82-83.
WU Tao，ZHANG Shaoling. A high light efficiency tree shape suitable for sand pear cultivation - “3+1”[J]. South China Fruits，2011，40(6)：82-83.

[4] 伍涛，秦仲麒，刘政，朱红艳，杨夫臣，涂俊凡，李先明，聂显双 . “双臂顺行式”棚架梨树流程化修剪技术[J]. 中国南方果树，2018，47(6)：141-142.
WU Tao，QIN Zhongqi，LIU Zheng，ZHU Hongyan，YANG Fuchen，TU Junfan，LI Xianming，NIE Xianshuang. Process pruning of pear trees on trellises with “double-armed parallel”[J]. South China Fruits，2018，47(6)：141-142.

[5] COUPEL-LEDRU A，PALLAS B，DELALANDE M，SEGURA V，GUITTON B，MURANTY H，DUREL C E，REGNARD J L，COSTES E. Tree architecture，light interception and water-use related traits are controlled by different genomic regions in an apple tree core collection[J]. New Phytologist，2022，234(1)：209-226.

[6] 兖攀，王振东，邓永辉，陈奇凌，郑强卿 . 库尔勒香梨的光能截获率及冠层结构优化[J]. 中国农业科学，2024，57(5)：965-979.
YAN Pan，WANG Zhendong，DENG Yonghui，CHEN Qiling，ZHENG Qiangqing. Light interception rate and canopy structure optimization of Korla fragrant pear[J]. Scientia Agricultura Sinica，2024，57(5)：965-979.

[7] 刘珊珊 . 不同树形对梨冠层结构、光合特性及果实品质的影响[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2023.
LIU Shanshan. Effects of different tree shapes on canopy structure，photosynthetic characteristics and fruit quality of pear[D]. Yangling：Northwest A & F University，2023.

[8] ZHAO M X，SUN W T，LI H X，WANG W，CAO G，WANG F L. The effects of the tree structure of zaosu pear on the transport and distribution of photosynthetic assimilates and fruit quality under desert-area conditions[J]. Agronomy，2022，12(10)：2440.

[9] 杨夫臣，伍涛，朱红艳，秦仲麒，李先明，涂俊凡，刘政，杨立．梨树新型平棚架树形的结构、产量及品质调查[J]. 中国南方果树，2019，48(6)：158-160.
YANG Fuchen，WU Tao，ZHU Hongyan，QIN Zhongqi，LI Xianming，TU Junfan，LIU Zheng，YANG Li. Investigations on the structure，yield and quality of a new flat trellis tree shape for pear trees[J]. South China Fruits，2019，48(6)：158-160.

[10] 曹玉芬，刘凤之，胡红菊，张冰冰．梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社，2006.
CAO Yufen，LIU Fengzhi，HU Hongju，ZHANG Bingbing. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.)[M]. Beijing：China Agriculture Press，2006.

[11] 闫帅，张莹，曹玉芬，赵德英．西南地区梨轻简化栽培品种和树形综合评价[J]. 果树学报，2023，40(2)：274-285.
YAN Shuai，ZHANG Ying，CAO Yufen，ZHAO Deying. Comprehensive evaluation on pear varieties and tree shapes used for labor-saving and simplified cultivation in Southwest of China[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(2)：274-285.

[12] 盛冠帅．犹豫模糊语言妥协解法在卓越绩效评价中的应用[D]. 昆明：昆明理工大学，2017.
SHENG Guanshuai. The application of hesitant fuzzy linguistic compromise solution in performance excellence evaluation[D]. Kunming：Kunming University of Science and Technology，2017.

[13] 杨诗琪，刘玉民，刘亚敏，李菊，李承想，高丙利．16种菲油果品系果实品质评价及优选[J]. 食品科学，2025，46(10)：31-38.
YANG Shiqi，LIU Yumin，LIU Yamin，LI Ju，LI Chengxiang，GAO Bingli. Fruit quality evaluation and optimal selection of 16 lines of Feijoa (*Acca sellowiana*)[J]. Food Science，2025，46(10)：31-38.

[14] 李玉姗，肖菁，马越，田超，赵连佳，王帆，宋羽，蒋程瑶．169份番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学，2024，57(18)：3671-3687.
LI Yushan，XIAO Jing，MA Yue，TIAN Chao，ZHAO Lianjia，WANG Fan，SONG Yu，JIANG Chengyao. Identification and evaluation of phenotypic characters and genetic diversity analysis of 169 tomato germplasm resources[J]. Scientia Agricultura Sinica，2024，57(18)：3671-3687.

[15] 马勉娣，曾厅余，鲁兴凯，全勇，邓代清，杜楠，孔皎，鲁素君，毛发想，谭安超．云南昭通与环渤海湾等3个产区红富士苹果品质的比较[J]. 中国果树，2024(5)：33-38.
MA Miandi，ZENG Tingyu，LU Xingkai，QUAN Yong，DENG Daiqing，DU Nan，KONG Jiao，LU Sujun，MAO Faxiang，TAN Anchao. Comparison of Red Fuji apple quality between Zhaotong Yunnan and three production regions including Around Bohai Bay[J]. China Fruits，2024(5)：33-38.

[16] 候璇，尹凯花，聂国伟，李凯，张亚楠，张晓萍，田永强．山西地区39份甜樱桃种质果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报，2025，42(4)：752-764.
HOU Xuan，YIN Kaihua，NIE Guowei，LI Kai，ZHANG Yanan，ZHANG Xiaoping，TIAN Yongqiang. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of 39 sweet cherry accessions in Shanxi region[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(4)：752-764.

[17] 周慧娟，叶正文，曾思懿，王晓庆，骆军．砂梨品种果实冷藏期间质地及品质差异性评价[J]. 食品与机械，2023，39(1)：125-131.
ZHOU Huijuan，YE Zhengwen，ZENG Siyi，WANG Xiaoqing，LUO Jun. Evaluation on fruit texture and quality of different pear varieties during cold storage[J]. Food & Machinery，2023，39(1)：125-131.

[18] 王燕霞，王晓蔓，关军锋．梨果肉质地性状分析[J]. 中国农业科学，2014，47(20)：4056-4066.
WANG Yanxia，WANG Xiaoman，GUAN Junfeng. Flesh texture characteristic analysis of pear[J]. Scientia Agricultura Sinica，2014，47(20)：4056-4066.

[19] 闫帅，赵亮亮，王钰菲，李红利，徐锴，张少瑜，赵德英，曹玉芬．长江中下游产区梨品种和树形综合评价[J]. 中国果树，2023(4)：49-55.
YAN Shuai，ZHAO Liangliang，WANG Yufei，LI Hongli，XU Kai，ZHANG Shaoyu，ZHAO Deying，CAO Yufen. Comprehensive evaluation of pear varieties and tree shape in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. China Fruits，2023(4)：49-55.

[20] 伍涛，张绍铃，吴俊，肖家欣，吴华清，刘吉祥，张华，吴桂法．‘丰水’梨棚架与疏散分层冠层结构特点及产量品质的比较[J]. 园艺学报，2008，35(10)：1411-1418.
WU Tao，ZHANG Shaoling，WU Jun，XIAO Jiaxin，WU Huaqing，LIU Jixiang，ZHANG Hua，WU Guifa. Comparative studies on canopy structure characteristics，yield and fruit quality in horizontal trellis system and delayed-open central leader system of ‘Hosui’ pear tree[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008，35(10)：1411-1418.

[21] 蔡少帅．翠冠梨6种树形冠层特征及其与产量和品质的关系[D]. 南京：南京农业大学，2016.
CAI Shaoshuai. The relationship about canopy characteristics between yield and quality on six tree systems of ‘Cuiguan’ pear[D]. Nanjing：Nanjing Agricultural University，2016.

[22] 程寅胜，伍涛，刘政，杨立，李谢雨，聂显双，曹刚．山地“双臂顺行式”梨园棚架搭建与整形修剪技术[J]. 中国南方果树，2023，52(6)：225-227.
CHENG Yinsheng，WU Tao，LIU Zheng，YANG Li，LI Xieyu，NIE Xianshuang，CAO Gang. Construction and plastic pruning technology of “Double-armed Parallel” trellises in mountain orchards[J]. South China Fruits，2023，52(6)：225-227.

[23] 彭曼君，刘道贤，吴吉平，李伟，宁继文，张小贝，王富．5个梨树品种在荆门棚架栽培的适应性调查研究[J]. 果树资源学报，2024，5(4)：18-21.
PENG Manjun，LIU Daoxian，WU Jiping，LI Wei，NING Jiwen，ZHANG Xiaobei，WANG Fu. A preliminary study on the adaptability of 5 pear cultivars in Jingmen scaffolding cultivation[J]. Journal of Fruit Resources，2024，5(4)：18-21.

[24] 姜晓艳，李俊才，王家珍，沙守峰，蔡忠民，李宏军．不同树形对早金酥梨光合特性、树体生长及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学，2022，50(3)：163-166.
JIANG Xiaoyan，LI Juncai，WANG Jiazhen，SHA Shoufeng，CAI Zhongmin，LI Hongjun. Influences of different tree shapes on photosynthetic characteristics，tree growth and fruit quality of Zaojinsu pear[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2022，50(3)：163-166.