

## 技术与方法 Techniques and Methods

## 四种综合评价法对不同葡萄品种设施环境适应性的评价和比较

韩晓, 刘凤之, 谢计蒙, 王孝娣, 冀晓昊, 王海波\*

中国农业科学院果树研究所/农业部园艺作物种质资源利用重点实验室, 辽宁兴城125100

**摘要:** 用Li-6400光合仪测定各葡萄(*Vitis vinifera*)品种的设施环境适应性参数, 利用熵值法、主成分分析法、Topsis评价法、熵权Topsis评价法4种综合评价方法对其设施环境适应性进行评价。通过比较4种综合评价方法对不同葡萄品种设施环境适应性评价的差异, 筛选出适宜评价葡萄设施环境适应性的综合评价方法。结果表明, Topsis综合评价法对各个葡萄品种设施环境适应性的评价结果与反映其设施环境适应性的连年丰产能力最为相近, 更适宜作为环境适应性评价的方法。用该方法评价时, ‘红标无核’、‘紫珍香’、‘无核早红’、‘红旗特早玫瑰’和‘87-1’的设施环境适应性好, 适于设施栽培。

**关键词:** 葡萄品种; 设施环境适应性; 综合评价方法

葡萄(*Vitis vinifera*)设施环境适应性是研究葡萄是否适宜设施栽培的重要因素, 是设施葡萄品种选择的重要前提。葡萄的设施环境适应性可以通过其连年丰产能力来检验, 连年丰产能力强的品种, 其设施环境适应性强(王海波等2013)。由于葡萄品种的连年丰产能力验证至少需要连续观察3年, 周期长, 成本高, 亟需建立一种快速有效的评价方法来判断葡萄的设施环境适应性, 为设施葡萄的品种选择提供依据。表观量子效率、光补偿点、羧化效率、CO<sub>2</sub>补偿点、暗呼吸速率、高温下净光合速率、不同温度(常温和高温)下净光合速率变化值等光合参数反映葡萄品种的耐弱光、耐低浓度CO<sub>2</sub>和耐高温等设施环境适应性(王海波等2013; 刘帅等2016; 李瑛等2015; 谢计蒙2012)。上述光合参数的测定快速且成本低, 因此利用上述参数对葡萄品种的设施环境适应性进行评价是行之有效的方法。但在上述参数中, 表观量子效率、羧化效率和高温下净光合速率是高优指标, 光补偿点、CO<sub>2</sub>补偿点、暗呼吸速率和不同温度下净光合速率变化值是低优指标, 为解决不同指标结果的不一致性, 需要选择一种适宜的综合评价方法来进行评价。关于综合评价方法, 目前最常用的是熵值法(Yasuno等2004; Zou等2005; 张卫民等2003; Li等2016)、主成分分析法(Yeung和Ruzzo 2001; Abdi和Williams 2010; 林海明等2013; 赵丽等2012)、Topsis评价法(Wang和Chang 2007; Arabzad等2015; Hamdan和Cheaitou 2015; 洪惠坤等2015; 邓春燕等2016)、熵权Topsis法(李灿等2013; 公丽艳等2014; 李博和陈瑞2016), 这些评价方法一般在

金融评估、土地利用方面应用较多, 在农作物、果树、蔬菜等植物的综合性状的评价中涉及较少。本研究以不同葡萄品种的设施环境适应性参数为基础数据, 运用四种不同的综合评价方法对葡萄的设施环境适应性进行分析比较, 并以其连年丰产能力作为验证指标, 筛选出一种评价葡萄品种设施环境适应性的快速有效的评价方法, 缩短对葡萄品种设施环境适应性评价的周期, 有效降低评价成本, 同时用此方法比较21个葡萄品种环境适应性的差别。

## 材料与方法

## 1 实验材料及地点

实验于2009年6月~2011年10月在中国农业科学院果树研究所葡萄核心技术试验示范园(辽宁兴城, 40.45°N 120.51°E)进行, 实验材料为‘红旗特早玫瑰’、‘紫珍香’、‘无核白鸡心’、‘无核早红’(8611)、‘红标无核’(8612)、‘87-1’、‘乍娜’、‘莎巴珍珠’、‘奥迪亚无核’、‘香妃’、‘红香妃’、‘红双味’、‘巨峰’、‘优无核’、‘京亚’、‘巨玫瑰’、‘藤稔’、‘布朗无核’、‘火星无核’、‘夏黑’和‘矢富罗莎’2009年葡萄(*Vitis vinifera* L.), 树龄为四年生, 砧木为‘贝达’ [*V. riparia* (河岸葡萄)×*V. labrusca* (美洲葡萄)]

收稿 2017-06-05 修定 2017-09-13

资助 中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP-2015-RIP-04)、国家现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-30-zp)、农业部“948”重点项目(2011-G28)和国家自然科学基金(41101573)。

\* 通讯作者(E-mail: haibo8316@163.com)。

cv. Beta], 株行距为0.5 m×1 m, 单层水平龙干型整形, 新梢直立绑缚, 短梢修剪, 双株定植, 肥水管理采取水肥一体化, 其他管理同常规。

## 2 环境适应性参数的测定

选择晴朗无云的上午, 利用Li-6400光合仪, 选择不同葡萄品种最佳功能叶进行测量。首先设定CO<sub>2</sub>浓度为400 μmol·mol<sup>-1</sup>, 温度25°C, 气体流速500 mmol·s<sup>-1</sup>。叶室光合有效辐射按照由强到弱的顺序分别设定为2 000、1 800、1 500、1 200、800、400、200、100、50、20、0 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 测定光响应曲线。然后, 设定光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)为1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 温度为25°C, 气体流速为500 mmol·s<sup>-1</sup>。CO<sub>2</sub>浓度由高到低梯度分别为2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、400、200、100、50 μmol·mol<sup>-1</sup>, 测定CO<sub>2</sub>响应曲线。最后, 设定PAR为1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub>浓度控制为400 μmol·mol<sup>-1</sup>, 气体流速为500 mmol·s<sup>-1</sup>。温度按照由小到大的顺序设定为22、25、27、30、32、35°C, 测定净光合速率。利用直角双曲线修正模型求得光补偿点、表观量子效率、CO<sub>2</sub>补偿点、羧化效率和暗呼吸速率(叶子飘等2010)。

## 3 连年丰产能力的测定

连年丰产能力反映了葡萄的设施环境适应性, 连年丰产能力强的品种, 其设施环境适应性强。连年丰产能力用连年丰产系数来表示, 连年丰产系数越大, 连年丰产能力越强。连年丰产系数由平均结果系数和大小年指数归一化处理后按照1:1的权重加和得出, 大小年结果指数计算公式为:  $B = [\sum[(C_{r-1} + C_{r+1})/2] - C_r] / \sum C_r$ ,  $C_{r-1}$ 、 $C_r$ 和 $C_{r+1}$ 为连续3年的结果系数; 结果系数计算公式为:  $C = \text{单株花穗数} / \text{单株新梢数}$ 。连年丰产系数计算公式为:  $A = (1 - B') + C'$ , 该公式中 $B'$ 、 $C'$ 分别是 $B$ 、 $C$ 的归一化值。

## 4 不同综合评价方法

### 4.1 熵值法

熵的概念源于热力学, 是对系统状态不确定性的一种度量。在信息论中, 信息是系统有序程度的一种度量, 而熵是系统无序程度的一种度量, 两者绝对值相等但符号相反。根据此性质, 可以利用评价中各方案的固有信息, 通过熵值法得到各个指标的信息熵, 信息熵越小, 信息的无序度越

低, 其信息的效用值越大, 指标的权重越大(余健等2012)。具体计算步骤如下:

第一步, 数据的非负数化处理。

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})}{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})} + 1, \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - X_{ij}}{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})} + 1, \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

正向指标是指数值越大越好的指标, 负向指标是指数值越小越好的指标。 $X_{ij}$ 是指某一个葡萄品种的某一项生理指标,  $X'_{ij}$ 指经过非负化处理后的指标。

第二步, 计算第 $j$ 项指标下第 $i$ 个方案占该指标的比重。

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}}, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$j$ 是指试验测定的指标共有 $j$ 项,  $i$ 在本试验中指的是葡萄品种数。 $P_{ij}$ 指某项指标经过归一化处理后占有所有葡萄品种该项指标的比例。指标值 $X_{ij}$ 的差异越大, 对方案评价的作用越大, 熵值就越小。

第三步, 计算第 $j$ 项指标的熵值。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} (\ln P_{ij}) \quad (4)$$

其中 $k > 0$ ,  $\ln$ 表示自然对数,  $e_j \geq 0$ 。式中 $k$ 与样本数 $m$ 有关, 一般令 $k = 1/(\ln m)$ , 则 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

$e_j$ 是指某一个葡萄品种的某一项指标在所有葡萄品种中所占的熵值。熵值 $e_j$ 越小, 不确定性越小, 信息量越大。 $g_j$ 越大指标越重要。

第四步, 计算第 $j$ 项指标的差异系数。

$$W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$W_j$ 是某个葡萄品种的某项指标熵值占有所有葡萄品种该项指标的权重。

第五步, 计算各方案的综合得分。

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j P_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$S_i$ 是指某个葡萄品种所有项评价指标得分加和。

#### 4.2 主成分分析法

主成分分析是一种对多元数据的变量数目进行有效减维压缩的方法。它提供了一种能在保持原资料大部分信息的基础上,将变量数较多而且变量间有不同程度相关关系的数据转换成一组变量数较少而且变量间相互独立的新数据的方法。以各个品种为单位,将选取的评价指标进行标准化处理,以此为变量利用主成分分析,通过运算得出矩阵的特征根和相应的方差贡献率,利用“主成分相应特征根的平方根与特征向量乘积为因子载荷量”的性质来计算特征向量,从而得到主成分的线性表达式。

$$Z_{in} = \sum_{j=1}^n \lambda_{nj} y'_{ij} \quad (8)$$

式中,  $Z_{in}$ 为第*i*个品种第*n*个主成分因子得分,  $\lambda_{nj}$ 是第*n*个主成分第*j*个指标的特征向量,  $y'_{ij}$ 是第*i*个品种第*j*个指标标准化的数据。根据线性表达式计算出各主成分因子的得分,利用各主成分的方差贡献率作为其权重,计算各主成分因子的综合得分,如下式,作为环境适应性的评价分值。

$$Z_i = \sum_{n=1}^n P_n Z_{in} \quad (9)$$

式中,  $Z_i$ 为第*i*个品种主成分因子的综合得分,  $P_n$ 为第*n*个主成分因子方差贡献率。

#### 4.3 Topsis分析法

Topsis法是一种适用于根据多项指标、对多个方案进行比较选择的分析方法,能够客观全面地反映目标状况的动态变化,通过在目标空间中定义一个测度,以此测量目标靠近正理想解和远离负理想解的程度来评估目标的绩效水平。本实验中,权重确定由行内专家共同讨论确定,所以只需要根据此权重,确定正负理想解和距离即可。

第一步,确定正负理想解。

$$Y_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{Y_{ij}\}; \quad (10)$$

$$Y_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{Y_{ij}\}, j=1,2,\dots,m; \quad (11)$$

式中,  $Y_j^+$ 表示最偏好的方案(正理想解),  $Y_j^-$ 表示最不偏好的方案(负理想解),  $Y_{ij}$ 表示所有的方案。

第二步,计算距离。分别计算每个品种评价向量到正理想解的距离 $D^+$ 和负理想解的距离 $D^-$ 。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} - Y_i^+)^2}, i=1,2,\dots,m \quad (12)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{ij} - Y_i^-)^2}, i=1,2,\dots,m \quad (13)$$

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^+}, 1 \leq j \leq n \quad (14)$$

式中,  $D_j^+$ 表示每个葡萄品种与最优葡萄品种间的距离,  $D_j^-$ 指每个葡萄品种与最差葡萄品种间的距离。贴近度 $C_j$ 的值介于0~1,  $C_j$ 越大,表明第*j*个品种环境适应性越接近最优水平。

#### 4.4 熵权Topsis法

该方法是一种改进的Topsis方法, Topsis方法中的权重由专家确定法进行确定,熵权Topsis法的权重则利用熵值法进行确定,然后结合Topsis方法的运算体系进行计算。具体计算步骤参照4.1和4.3。

#### 5 数据分析方法

采用SAS 9.4进行分析,用Excel 2010作图。

### 实验结果

#### 1 不同葡萄品种环境适应性参数的比较

环境适应性参数包括表观量子效率、光补偿点、暗呼吸速率、羧化效率、 $\text{CO}_2$ 补偿点、高温下净光合速率、不同温度下光合速率变化值等参数。其中表观量子效率反映了植物光合作用的光能利用效率,尤其是对弱光的利用能力。表观量子效率越高,说明叶片光能转化效率越高,环境适应性越强。光补偿点反映了植物叶片光合作用过程中光合同化作用与呼吸消耗相当时的光强。光补偿点低说明植物利用弱光能力强,有利于有机物质的积累(秦玉芝等2014)。暗呼吸速率反映在同等环境下消耗有机物的多少,一般而言,暗呼吸速率越低,环境适应性越强。 $\text{CO}_2$ 补偿点是维持植物生长的最低 $\text{CO}_2$ 浓度,代表植株开始累积同化物起始点(Campbell等2005),而羧化效率反映低 $\text{CO}_2$ 浓度下植物核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, RuBisCO)的活性大小(王志强等2001)。高温下净光合速率、不同温度下光合速率变化值反映了不同葡萄品种耐高温环境的能力。由表1可知,不同葡萄品种环境适应性参数显然不同。对于光补偿点,‘夏黑’、‘布朗无核’、‘优无核’明显高于其他葡萄品

表1 不同葡萄品种环境适应性参数

Table 1 Environmental adaptability parameters of different grape cultivars

葡萄品种	光补偿点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	表观量子效率	暗呼吸效率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CO <sub>2</sub> 补偿点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	羧化效率	35°C净光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$\Delta X$ / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
‘红旗特早玫瑰’(欧亚种)	16	0.0316	1.032	78	0.0727	6.70	1.69
‘紫珍香’(欧美杂种)	17	0.0401	0.937	77	0.0767	7.09	1.99
‘无核早红’(欧美杂种)	21	0.0776	2.178	75	0.0216	7.63	2.10
‘红标无核’(欧美杂种)	19	0.0894	1.474	65	0.0515	8.37	1.98
‘87-1’(欧亚种)	22	0.0431	1.619	60	0.0821	7.29	1.12
‘乍娜’(欧亚种)	22	0.0469	1.680	72	0.0533	10.60	2.69
‘无核白鸡心’(欧亚种)	22	0.0388	2.168	68	0.0656	11.10	3.77
‘莎巴珍珠’(欧亚种)	25	0.0488	2.265	80	0.0262	6.12	2.20
‘奥比亚无核’(欧亚种)	23	0.0234	1.922	67	0.0530	9.39	4.00
‘香妃’(欧亚种)	20	0.0212	1.503	89	0.0453	5.47	1.99
‘红香妃’(欧亚种)	22	0.0238	2.067	70	0.0540	4.24	3.13
‘红双味’(欧美杂种)	28	0.0527	1.658	67	0.0757	11.50	1.50
‘巨峰’(欧美杂种)	39	0.0622	2.530	62	0.0947	13.10	3.40
‘优无核’(欧亚种)	45	0.0475	1.013	77	0.0523	10.20	3.60
‘京亚’(欧美杂交种)	31	0.0266	1.845	79	0.0460	5.59	3.02
‘巨玫瑰’(欧美杂交种)	38	0.0424	2.525	75	0.0769	11.60	0.80
‘藤稔’(欧美杂种)	35	0.0293	1.209	87	0.0758	8.68	0.40
‘布朗无核’(欧美杂种)	45	0.0350	2.888	62	0.0787	7.59	2.33
‘火星无核’(欧美杂种)	40	0.0463	1.095	72	0.0658	10.60	2.60
‘夏黑’(欧美杂种)	46	0.0587	2.360	65	0.0947	11.50	1.10
‘矢富罗莎’(欧亚种)	31	0.0265	1.037	92	0.0469	6.15	3.38

$X$ 表示不同温度下净光合速率值,  $\Delta X$ 表示各个品种不同温度下最大净光合速率和最小净光合速率之间的差值。

种, ‘红旗特早玫瑰’明显低于其他葡萄品种。对于表观量子效率, ‘红标无核’最高, ‘无核早红’其次, 二者明显高于其他葡萄品种。对于暗呼吸效率, ‘布朗无核’最高, ‘巨峰’其次, 明显高于其他葡萄品种。对于CO<sub>2</sub>补偿点, ‘矢富罗莎’和‘香妃’最高, 明显高于其他葡萄品种。对于羧化效率, ‘巨峰’和‘夏黑’最高, 明显高于其他葡萄品种。对于35°C净光合速率, ‘巨峰’、‘巨玫瑰’、‘夏黑’、‘红双味’明显高于其他普通品种。对于不同温度下净光合速率差值, ‘奥比亚无核’、‘无核白鸡心’明显高于其他葡萄品种。由此可见, 对于同一个葡萄品种, 各个环境适应性参数结果不具有 consistency, 高优指标和低优指标结果相对立, 这样就导致无法直接比较判断葡萄品种的环境适应性的好坏, 需要一种综合评价方法来平衡各指标结果的不一致性, 以得出更客观的结果。

## 2 不同评价方法对不同葡萄品种的综合评价

为更客观准确地分析各葡萄品种环境适应性的差异, 采用主成分分析法、熵值法、Topsis分析

法、熵权Topsis法四种方法对各葡萄品种环境适应性参数进行分析。在进行相应的分析之前, 都需要先对数据进行标准化处理。由表2可知, 用熵值法进行综合评价时, 发现‘优无核’、‘矢富罗莎’、‘藤稔’、‘夏黑’、‘火星无核’得分最高, ‘87-1’、‘红标无核’、‘红旗特早玫瑰’、‘紫珍香’、‘无核白鸡心’得分最低; 用主成分分析法评价时, ‘红标无核’、‘无核早红’、‘莎巴珍珠’、‘乍娜’、‘优无核’得分最高, ‘布朗无核’、‘夏黑’、‘巨玫瑰’、‘巨峰’、‘藤稔’得分最低; Topsis法分析时, ‘红标无核’、‘紫珍香’、‘无核早红’、‘红旗特早玫瑰’、‘87-1’得分最高, ‘京亚’、‘布朗无核’、‘火星无核’、‘红香妃’、‘巨玫瑰’得分最低; 熵权Topsis法分析时, ‘藤稔’、‘红标无核’、‘巨玫瑰’、‘紫珍香’、‘红旗特早玫瑰’得分最高, ‘京亚’、‘奥比亚无核’、‘布朗无核’、‘红香妃’、‘莎巴珍珠’得分最低。

连年丰产能力可以用连年丰产系数来表示, 连年丰产系数可以通过平均结果系数和大小年指数归一化处理后得出。连年丰产系数越大, 连年

表2 不同评价方法对不同葡萄品种的综合评价排名

Table 2 Comprehensive ranks of different grape cultivars using different evaluation methods

葡萄品种	熵值法		主成分分析法		Topsis法		熵权Topsis法	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
‘红旗特早玫瑰’(欧亚种)	15.239	19	0.438	8	0.505	4	0.3854	5
‘紫珍香’(欧美杂种)	15.341	18	0.958	7	0.548	2	0.3872	4
‘无核早红’(欧美杂种)	16.102	13	3.798	2	0.508	3	0.3319	8
‘红标无核’(欧美杂种)	14.104	20	4.095	1	0.644	1	0.4086	2
‘87-1’(欧亚种)	13.860	21	-1.011	16	0.424	5	0.3831	6
‘乍娜’(欧亚种)	15.914	14	1.444	4	0.395	11	0.2607	12
‘无核白鸡心’(欧亚种)	15.596	17	0.077	11	0.334	14	0.2400	15
‘莎巴珍珠’(欧亚种)	17.675	11	1.463	3	0.317	16	0.2164	17
‘奥迪亚无核’(欧亚种)	15.637	16	-0.082	13	0.416	8	0.2003	20
‘香妃’(欧亚种)	17.787	10	0.353	10	0.326	15	0.2560	14
‘红香妃’(欧亚种)	15.700	15	-0.814	15	0.266	18	0.2104	18
‘红双味’(欧美杂种)	16.234	12	-0.061	12	0.416	7	0.3169	9
‘巨峰’(欧美杂种)	18.263	9	-1.578	18	0.401	10	0.2884	10
‘优无核’(欧亚种)	21.450	1	1.258	5	0.422	6	0.2593	13
‘京亚’(欧美杂种)	18.836	8	-0.382	14	0.192	21	0.1423	21
‘巨玫瑰’(欧美杂种)	19.497	6	-2.718	19	0.301	17	0.3916	3
‘藤稔’(欧美杂种)	20.319	3	-1.567	17	0.415	9	0.6418	1
‘布朗无核’(欧美杂种)	19.329	7	-4.176	21	0.223	20	0.2093	19
‘火星无核’(欧美杂种)	19.533	5	0.374	9	0.265	19	0.2700	11
‘夏黑’(欧美杂种)	19.704	4	-2.965	20	0.394	12	0.3825	7
‘矢富罗莎’(欧亚种)	20.669	2	1.095	6	0.357	13	0.2313	16

Topsis法中, 光补偿点、表观量子效率、暗呼吸速率、CO<sub>2</sub>补偿点、羧化效率、高温下净光合、 $\Delta X$ 比例为4:4:4:2:2:1:1。

丰产能力越强。由表3可知, ‘紫珍香’、‘香妃’、‘无核早红’、‘红旗特早玫瑰’、‘红标无核’、‘87-1’连年丰产系数最高, ‘优无核’、‘巨玫瑰’、‘火星无核’、‘夏黑’、‘布朗无核’连年丰产系数最低。结合表4中四种评价方法结果与连年丰产能力的相关性分析, 发现熵值法与连年丰产能力成极显著负相关, Topsis综合评价法结果、主成分分析法结果与连年丰产能力成显著相关, 但是由于对环境适应性的评价, 四种方法评价结果都是得分越高, 环境适应性越强, 同样地, 连年丰产系数越大, 环境适应性越强, 所以成负相关的熵值法不适合作为环境适应性评价方法。此外, Topsis评价法的相关系数大于主成分分析, 评价结果与连年丰产能力的结果最为相近, 因此, 对于不同品种的环境适应性, Topsis综合评价法相对较好。

## 讨 论

连年丰产能力是品种对环境适应性的综合反映, 不同葡萄品种的连年丰产能力是研究品种是

否适应环境的首要指标(王海波等2013)。一般而言, 连年丰产能力越强, 说明环境适应性越强, 所以我们可以由不同葡萄品种的连年丰产能力的大小推测出不同葡萄品种环境适应性的强弱。但是用连年丰产能力推测环境适应性周期长, 验证成本高, 所以应寻找一种快速有效的环境适应性综合评价方法来弥补连年丰产能力的不足。而本文采用熵值法、主成分分析法、Topsis方法、熵权Topsis法四种常用的综合评价方法对21个葡萄品种环境适应性进行评价, 并分析其排名与连年丰产能力的相关性, 发现Topsis方法评价结果与不同葡萄品种的连年丰产能力相关性最强, 排名顺序最为相近, 说明该方法对不同葡萄品种的环境适应性评价相对准确。之所以四种方法对同一个研究结果有不同的综合排名, 主要是由于四种方法的理论差异、数据标准化处理差异、计算权重的差异决定的(赵丽等2012)。

用熵值法进行排名时, 发现与连年丰产能力的排名相差较大, 这是由熵值法本身的特点造成

表3 不同葡萄品种平均结果系数、大小年指数及连年丰产系数

Table 3 Average fruiting set coefficient, index of yield and annual yield coefficient of different grape cultivars

葡萄品种	平均结果系数		大小年指数		连年丰产系数	连年丰产系数排名
	原始数据	归一化值	原始数据/%	归一化值		
‘红旗特早玫瑰’(欧亚种)	1.12	0.055	0.00	0.000	1.055	4
‘紫珍香’(欧美杂交种)	1.74	0.086	1.53	0.006	1.078	1
‘无核早红’(欧美杂种)	1.43	0.070	2.80	0.012	1.058	3
‘红标无核’(欧美杂种)	1.27	0.063	1.83	0.008	1.054	5
‘87-1’(欧亚种)	1.16	0.057	1.29	0.006	1.051	8
‘乍娜’(欧亚种)	1.27	0.063	2.09	0.009	1.053	7
‘无核白鸡心’(欧亚种)	1.12	0.055	3.13	0.014	1.041	10
‘莎巴珍珠’(欧亚种)	1.16	0.057	2.31	0.010	1.047	9
‘奥迪亚无核’(欧亚种)	1.13	0.055	0.29	0.001	1.054	6
‘香妃’(欧亚种)	1.60	0.079	0.31	0.001	1.077	2
‘红香妃’(欧亚种)	1.07	0.053	2.97	0.013	1.039	11
‘红双味’(欧美杂种)	0.83	0.041	12.40	0.055	0.986	12
‘巨峰’(欧美杂种)	0.56	0.027	16.96	0.075	0.953	15
‘优无核’(欧亚种)	0.57	0.028	34.59	0.153	0.875	21
‘京亚’(欧美杂交种)	0.78	0.038	15.67	0.069	0.969	13
‘巨玫瑰’(欧美杂交种)	0.71	0.035	30.33	0.134	0.901	20
‘藤稔’(欧美杂种)	0.63	0.031	17.46	0.077	0.953	14
‘布朗无核’(欧美杂种)	0.57	0.028	18.82	0.083	0.944	17
‘火星无核’(欧美杂种)	0.57	0.028	22.38	0.099	0.928	19
‘夏黑’(欧美杂种)	0.46	0.022	20.65	0.091	0.932	18
‘矢富罗莎’(欧亚种)	0.54	0.026	18.01	0.079	0.946	16

表4 不同评价方法结果与连年丰产能力相关性分析

Table 4 Correlation analysis of results of different evaluation methods and annual yield ability

	熵值法	主成分分析法	Topsis法	熵权Topsis法	连年丰产能力
熵值法	1	—	—	—	—
主成分分析法	-0.25974	1	—	—	—
Topsis法	-0.47143	0.43506	1	—	—
熵权Topsis法	-0.15065	0.03896	0.61558*	1	—
连年丰产能力	-0.78961	0.47792*	0.50909*	0.11688	1

\*表示在 $P=0.05$ 水平上显著正相关。

的。对于熵值法而言,分布越均匀的信息,熵值越大,所反映的信息量也就越小,对于信息量小的变量,赋予太大的权重意义不大,因此赋予的权重也就越小(张红涛和毛罕平2009)。本试验中,有表观量子效率、光补偿点、暗呼吸速率等七个参数,其中21个葡萄品种的光补偿点离散程度大,方差大,熵值小,所占权重较大。表观量子效率、暗呼吸速率、羧化效率、 $\text{CO}_2$ 补偿点和不同温度下净光合速率差值五个参数离散程度相对一致,方差较小,熵值较大,因此这几个参数所占权重也相差无几。而高温下净光合速率离散程度最小,方差

最小,熵值最大,说明不同葡萄品种高温下净光合速率表现是类似的,并没有非常大的区别,因此这个参数对于所有葡萄品种的环境适应性的样本区分意义不大,故而给予较小的权重。此时,在进行标准化求总分时,由于表观量子效率、暗呼吸速率、羧化效率、 $\text{CO}_2$ 补偿点和不同温度下净光合速率差值所占权重十分接近,导致无法区分这五个指标的重要程度,而在实际生产实践中,表观量子效率和暗呼吸速率要比羧化效率、 $\text{CO}_2$ 补偿点、不同温度下净光合速率差值三个参数更重要。综上,虽然熵值法对于权重的确定较为客观,但是对

一些分布类似、离散程度相对一致、具有实际生产意义的指标赋予的权重参考意义不大。

用主成分分析评价时, 21个葡萄品种的排名与连年丰产能力排名较熵值法好, 但仍然不如Topsis评价法准确。主成分分析可以在众多繁杂变量中抽象出新变量, 且新变量的代表性强, 可消除评价指标之间的相关影响。在中国南方干旱脆弱性的评价(王莺等2014)、苹果(*Malus pumila*)酒香气质量评价(岳田利等2007)中都反应出主成分分析的这一优势。但在本实验中, 经过主成分分析, 将仅有的七个变量重新划分为四个变量, 四个新变量方差贡献率达84%, 但新提出的四个变量的含义却无法解释清楚, 如第一主成分包含羧化效率、净光合两个原始变量, 第二主成分包含表观量子效率、暗呼吸效率、不同温度下净光合速率差值三个原始变量, 将它们合在一起, 没办法给出明确的解释和命名, 不像原始变量的含义那么清楚、确切, 此外, 环境适应性参数较少, 各个参数之间相关性也较小, 因此, 用主成分分析进行评价时, 评价结果也没有预期的理想。

用Topsis方法进行评价时, 21个葡萄品种的排名与连年丰产能力排名最为接近。这是由于在运用Topsis方法计算时, 各个参数权重的确定可由行业内专家共同商讨决定, 这样就避免了对重要指标的忽略, 有效修正了各个指标之间的差异, 得出的评价结果也最接近生产实际, 说明Topsis方法计算体系较优。此外, 关于同一事物的评价标准可能会随着时间的推移而改变, 专家也可根据自己多年的经验对权重进行相应的修改, 选择出适于当前需要的, 这是熵值法和主成分分析法所不具备的。当然, 在一定程度上, Topsis法难免会受人的主观意识影响, 造成一些主观性的误差。对于本实验结果, Topsis法充分发挥了它的灵活性, 对于不同葡萄品种环境适应性的评价, 耐弱光能力是最主要的, 其次是耐CO<sub>2</sub>能力, 再次是耐高温能力, 因此, 在赋予权重时, 耐弱光能力参数(表观量子效率、光补偿点、暗呼吸速率)赋予权重最高, 耐高温能力参数(不同温度光合速率差值、高温下净光合速率)赋予权重最低。这样得出的结果, 与实际生产实践的结果较为吻合, 与连年丰产能力结果也最为接近。

用熵权重Topsis方法进行评价结果跟直接采用Topsis方法进行评价的结果相比, 仍然不是很好, 其主要原因还是熵值法确定的权重不能很好地区分环境性参数的重要程度, 例如, 在实际生产实践中, 高温情况很少出现, 所以对品种耐高温能力要求较低, 但是熵权重高估了耐高温能力参数的权重, 因此, 导致评价结果有失偏颇。

综上所述, 本实验初步证明对于不同葡萄品种的环境适应性适合用Topsis综合评价法进行评价。利用该方法对21种不同葡萄品种的评价结果为‘红标无核’、‘紫珍香’、‘无核早红’、‘红旗特早玫瑰’、‘87-1’环境适应性好, 更适于设施栽培。

### 参考文献

- Abdi H, Williams LJ (2010). Principal component analysis. Wiley Interdiscip Rev Comp Stat, 2 (4): 433–459
- Arabzad S, Ghorbani M, Razmi J, Shirouychzad H (2015). Employing fuzzy TOPSIS and SWOT for supplier selection and order allocation problem. Int J Adv Manuf Tech, 76 (5): 803–818
- Campbell CD, Sage RF, Kocacinar F, Way DA (2005). Estimation of the whole-plant CO<sub>2</sub> compensation point of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Global Change Biol, 11: 1956–1967
- Deng C, Liu H, Wang H (2016). Application of weighted Topsis method in evaluation of transdermal enhancers in promoting penetration effect evaluation. Chin J Clin Pharm Therap, 21 (4): 412–416 (in Chinese with English abstract) [邓春燕, 刘汉波, 王晖(2016). 加权Topsis法评价在促透剂促透效果评价中的应用. 中国临床药理学与治疗学, 21 (4): 412–416]
- Gong L, Meng X, Liu N, Bi J (2014). Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis. T Chin Soc Agr Eng, 30 (13): 276–285 (in Chinese with English abstract) [公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 毕金峰(2014). 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价. 农业工程学报, 30 (13): 276–285]
- Hamdan S, Cheaitou A (2015). Green supplier selection and order allocation using an integrated fuzzy TOPSIS, AHP and IP approach. Dubai: IEEE, doi: 10.1109/ieom.2015.7093826
- Hong H, Liao H, Wei C, Li T, Xie D (2015). Health assessment of a land use system used in the ecologically sensitive area of the Three Gorges reservoir area, based on the improved TOPSIS method. Acta Ecol Sin, 35 (24): 8016–8027 (in Chinese with English abstract) [洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 李涛, 谢德体(2015). 基于改进TOPSIS方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价. 生态学报, 35 (24): 8016–8027]
- Li B, Chen R (2016). Comprehensive evaluation of fishery development level in China based on entropy weighted TOPSIS index. J Agr Sci Technol, 18 (2): 165–175 (in Chinese with English abstract) [李博, 陈瑞(2016). 基于熵权重TOPSIS方法的中国渔业发展水平综合评价研究. 中国农业科技导报, 18 (2): 165–175]
- Li C, Zhang F, Zhu T, Feng T, An L (2013). Evaluation and correlation

- analysis of land use performance based on entropy-weight TOPSIS method. *T Chin Soc Agr Eng*, 29 (5): 217–227 (in Chinese with English abstract) [李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 奉婷, 安萍莉 (2013). 基于熵权TOPSIS模型的土地利用绩效评价及关联分析. *农业工程学报*, 29 (5): 217–227]
- Li P, Li K, Liu C, Zheng D, Li Z, Liu C (2016). Detection of coupling in short physiological series by a joint distribution entropy method. *IEEE Trans Biomed Eng*, 63 (11): 2231–2242
- Li Y, Zhang RJ, Zhang W, Li Z, Lu S, Gu Q, Shan C, Zhang C, Wang S, Xu W (2015). Screening of low light tolerant grape cultivars based on analysis of photosynthetic characteristics in protected cultivation. *J Fruit Sci*, 32 (5): 885–893 (in Chinese with English abstract) [李瑛, 张睿佳, 张伟达, 李政, 陆姗姗, 顾巧英, 单传伦, 张才喜, 王世平, 许文平 (2015). 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选. *果树学报*, 32 (5): 885–893]
- Lin H, Du Z (2013). Some Problems in comprehensive evaluation in the principal component analysis. *Stat Res*, 30 (8): 25–31 (in Chinese with English abstract) [林海明, 杜子芳 (2013). 主成分分析综合评价应该注意的问题. *统计研究*, 30 (8): 25–31]
- Liu S, Wang Z, Tao J (2016). Influence of different stock on photosynthetic characteristic in seedlings of sun rose grape. *Jiangsu Agr Sci*, 44 (9): 184–186 (in Chinese with English abstract) [刘帅, 王志润, 陶建敏 (2016). 不同砧木对阳光玫瑰葡萄幼苗光合特性的影响. *江苏农业科学*, 44 (9): 184–186]
- Qin Y, Xing Z, Zou J, He C, Li Y, Xiong X (2014). Effects of sustained weak light on seedling growth and photosynthetic characteristics of potato seedlings. *Sci Agr Sin*, 47 (3): 537–545 (in Chinese with English abstract) [秦玉芝, 邢铮, 邹剑锋, 何长征, 李炎林, 熊兴耀 (2014). 持续弱光胁迫对马铃薯苗期生长和光合特性的影响. *中国农业科学*, 47 (3): 537–545]
- Wang HB, Wang XD, Shi XB, Wang BL, Zheng XC, Liu FZ (2013). Environmental adaptability of different grape cultivars in greenhouse. *Sci Agr Sin*, 46 (6): 1213–1220 (in Chinese with English abstract) [王海波, 王孝娣, 史祥宾, 王宝亮, 郑晓翠, 刘凤之 (2013). 葡萄不同品种对设施环境的适应性. *中国农业科学*, 46 (6): 1213–1220]
- Wang TC, Chang TH (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Syst Appl*, 33 (4): 870–880
- Wang Y, Wang J, Yao Y, Wang J (2014). Evaluation of drought vulnerability in southern china based on principal component analysis. *Ecol Environ Sci*, 23 (12): 1897–1904 (in Chinese with English abstract) [王莺, 王静, 姚玉璧, 王劲松 (2013). 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价. *生态环境学报*, 23 (12): 1897–1904]
- Wang Z, He F, Niu L, Liu S, Zong X (2001). The effects of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthesis, yield and quality of nectarine in greenhouse. *J Fruit Sci*, 18 (2): 75–79 (in Chinese with English abstract) [王志强, 何方, 牛良, 刘淑娥, 宗学普 (2001). CO<sub>2</sub>施肥对大棚油桃光合作用及产量品质的影响. *果树学报*, 18 (2): 75–79]
- Xie J (2012). Evaluating and screening of the appropriate grape cultivars to promote early maturing in greenhouse (Master's thesis). Beijing: Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese with English abstract) [谢计蒙 (2012). 设施葡萄促早栽培适宜品种的评价与筛选 (硕士论文). 北京: 中国农业科学院果树研究所]
- Yasuno Y, Wiesendanger TF, Ruprecht AK, Makitaa S, Yatagaia T, Tiziani HJ (2004). Wavefront-flatness evaluation by wavefront-correlation-information-entropy method and its application for adaptive confocal microscope. *Opt Commun*, 232: 91–97
- Ye ZP (2010). A review on modeling of responses of photosynthesis to light and CO<sub>2</sub>. *Chin J Plant Ecol*, 34 (6): 727–740 (in Chinese with English abstract) [叶子飘 (2010). 光合作用对光和CO<sub>2</sub>响应模型的研究进展. *植物生态学报*, 34 (6): 727–740]
- Yeung KY, Ruzzo WL (2001). Principal component analysis for clustering gene expression data. *Bioinformatics*, 17 (9): 763–774
- Yu J, Fang L, Cang D, Zhu L, Bian Z (2012). Evaluation of land eco-security in Wanjiang district base on entropy weight and matter element model. *T Chin Soc Agr Eng*, 28 (5): 260–266 (in Chinese with English abstract) [余健, 房莉, 仓定帮, 朱琳, 卞正富 (2012). 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用. *农业工程学报*, 28 (5): 260–266]
- Yue T, Peng B, Yuan Y, Gao Z, Zhang H, Zhao Z (2007). Modeling of aroma quality evaluation of cider based on principal component analysis. *T Chin Soc Agr Eng*, 23 (6): 223–227 (in Chinese with English abstract) [岳田利, 彭帮柱, 袁亚宏, 高振鹏, 张菡, 赵志华 (2007). 基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建. *农业工程学报*, 23 (6): 223–227]
- Zhang H, Mao H (2009). Comparison of four methods for deciding objective weights of features for classifying stored-grain insects based on extension theory. *T Chin Soc Agr Eng*, 25 (1): 132–136 (in Chinese with English abstract) [张红涛, 毛罕平 (2009). 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较. *农业工程学报*, 25 (1): 132–136]
- Zhang W, An J, Han C (2003). The application of entropy method in evaluation of sustainable development in the city. *J Quant Tech Econ*, 20 (6): 115–118 (in Chinese with English abstract) [张卫民, 安景文, 韩朝 (2003). 熵值法在城市可持续发展评价问题中的应用. *数量经济技术经济研究*, 20 (6): 115–118]
- Zhao L, Zhu Y, Fu M, Zhang P, Cao Y (2012). Comparative study on intensive use of rural residential land based on principal component analysis and entropy method. *T Chin Soc Agr Eng*, 28 (7): 235–242 (in Chinese with English abstract) [赵丽, 朱永明, 付梅臣, 张蓬涛, 曹银贵 (2012). 主成分分析法和熵值法在农村居民点集约利用评价中的比较. *农业工程学报*, 28 (7): 235–242]
- Zou Z, Sun J, Ren G (2005). Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Acta Sci Circum*, 25 (4): 552–556 (in Chinese with English abstract) [邹志红, 孙靖南, 任广平 (2005). 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用. *环境科学学报*, 25 (4): 552–556]

## Comparison of four comprehensive evaluation methods in evaluating environmental adaptabilities of different grape cultivars

HAN Xiao, LIU Feng-Zhi, XIE Ji-Meng, WANG Xiao-Di, JI Xiao-Hao, WANG Hai-Bo\*

*Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Germplasm Resources Utilization of Horticultural Crops, Ministry of Agriculture, Xingcheng, Liaoning 125100, China*

**Abstract:** In order to ascertain a comprehensive evaluation method to evaluate grape environmental adaptability (EA) in greenhouse environment, 4 kinds of comprehensive evaluation methods including the principal component analysis, entropy evaluation method, Topsis evaluation method and Topsis method with entropy weight were used to calculate EAs of 21 kinds of grape cultivars. The EA parameters, such as apparent quantum yield, light combination point and dark respiration rate, were measured by Li-6400 photosynthetic apparatus. The results indicate that the EA value calculated by Topsis method was consistent with the grape annual yield, so Topsis method was the most suitable method to evaluate grape EA, and ‘Hongbiaowuhe’, ‘Zizhenxiang’, ‘Seedless Red’, ‘Hongqitezaomeigui’ and ‘87-1’ with the best EAs were suitable for planting in greenhouse.

**Key words:** grape cultivar; environmental adaptability; comprehensive evaluation method

---

Received 2017-06-05 Accepted 2017-09-13

This work was supported by Chinese Academy of Agricultural Sciences Innovation Program (Grant No. CAAS-ASTIP-2015-RIP-04), National Modern Agricultural Industry Technical System Program (Grant No. nycytx-30-zp), Ministry of Agriculture “948” Key Project (Grant No. 2011-G28), and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41101573).

\*Corresponding author (E-mail: haibo8316@163.com).