

多目标决策在小豆种质资源评价中的应用

刘振兴¹, 程须珍², 周桂梅¹, 侯奎华¹

(¹河北省唐山市农业科学研究院, 唐山 063000; ²中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 基于熵权的多目标决策分析模型, 结合模糊数学和熵的思想, 运用多属性决策分析中的双基点法, 对小豆种质进行定量评价。经综合评价, 8 个小豆种质材料从优到劣的顺序为 B00766、B01805、B00091、B00651、B01670、B00655、B00388、B00774, 避免了由单一性状指标来判断参试材料优劣所造成的偏差, 可为育种亲本优选提供理论依据。结果表明, 多目标决策评价模型在少量小豆种质资源的评价中运算简便, 易于掌握。

关键词: 多目标决策; 熵权; 双基点; 小豆; 种质评价

An Entropy-based Evaluation Model for Multiple Objective Decision Making on Adzuki Bean Germplasm

LIU Zhen-xing¹, CHENG Xu-zhen², ZHOU Guimei¹, HOU Kuifua¹

(¹Tangshan Academy of Agricultural Sciences Tangshan 063001;

²Institute of Crop Sciences Chinese Academy of Agricultural Sciences Beijing 100081)

Abstract In order to evaluate adzuki bean germplasm resources precisely, an entropy-based evaluation model for Multiple Objective Decision Making (MODM) was tested. Combining fuzzy mathematics and the thought of entropy, the method of double base point in multiple property decision analysis was applied. After comprehensive evaluation, the order of eight adzuki bean entries in the test was decided from the best to the worst as following: B00766, B01805, B00091, B00651, B01670, B00655, B00388 and B00774. The MODM method can avoid the bias caused by single trait decision methods and provide more reliable decision for parents selection in breeding programs. The MODM was an easy and precise method to handle in the evaluation procedure of adzuki bean germplasm resources based on multiple characteristics.

Key words Multiple objective decision making; Entropy coefficient; Double base points; Adzuki bean; Germplasm evaluation

种质资源是种质创新的基础, 因此, 选择一个正确评价种质的方法极为重要。传统方法主要是对某一性状数据进行方差分析、多重比较, 从而对种质的优劣进行评价。实际上, 判断作物不能从单一性状进行评价。育种家不断地改善评价方法, 刘录祥等^[1]曾用灰色关联度评价小麦新种质, 卢为国等^[2]提出用 DTOPSIS 法综合评价大豆新种质, 还有不少学者用其他方法对作物种质进行综

合评价^[3-4], 但在以上的评价方法中, 作物各性状的权重都是人为规定的, 具有主观性, 评价结果难免出现偏差。近年来, 一种多目标决策方法在军事^[5]、环境工程^[6]、港口资源^[7-8]等方面运用较多, 该方法是基于熵权的多目标决策评价模型, 它结合模糊数学和熵的思想, 运用多属性决策分析中的双基点法^[9], 把影响因子综合起来考虑, 排除了人为定权重的主观干扰因素, 这种评价方法更为

收稿日期: 2010-02-25 修回日期: 2010-09-09

基金项目: 国家食用豆行业科研 (nyhyzx07-017); 国家食用豆产业技术体系建设 (nycytk-18)

作者简介: 刘振兴, 副研究员, 主要从事食用豆类资源研究与育种工作。E-mail: luzhxing@sohu.com

通讯作者: 程须珍, 研究员。E-mail: Chengxz@caas.net.cn

先进、合理、简便、切实可行,但目前应用于农业中的较少。本文运用该评价模型对小豆种质资源进行客观评价,为新种质选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

8份试验材料由中国农业科学院作物科学研究所提供: B00091、B00388、B00651、B00655、B00766、B00774、B0167Q、B01805,分别以 K₁、K₂、K₃、K₄、K₅、K₆、K₇、K₈表示。这些材料中,性状差别不十分明显,若仅以某一性状为指标,很难对参试材料做出公正的评价。本试验把参试材料的10个性状统筹考虑,运用多目标决策模型对材料做公正的评价。

1.2 试验设计

试验在河北省唐山市农业科学院试验场进行,于2008年6月26日播种,采用随机区组设计,3次重复,小区面积5m×6m,株距16.7cm,行距50cm,穴播,每穴2粒,播后镇压,出苗后间苗留单株。调查项目包括生育期、营养生长期、生殖生长期、株高、主茎分枝数、主茎节数、单株荚数、荚长、单荚粒数、百粒重等10个农艺性状,取平均值作为原始数据列于表1。

表1 参试材料主要性状平均值

Table 1 Average of major characters in azuki bean accessions

性状 Character	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
全生育期 (d) Growth period	110	110	88	87	100	103	105	103
营养生长期 (d) Days before flowering	62	64	39	46	50	51	62	62
生殖生长期 (d) Days after flowering	48	46	49	41	50	52	43	41
株高 (cm) Plant height	72.0	45.0	56.6	51.6	56.4	44.0	69.4	62.2
主茎分枝数 No. of primary branches	5.4	4.8	4.0	5.6	4.4	3.2	5.2	5.8
主茎节数 No. of main stem	14.8	13.2	14.5	16	15	14.2	15	15.6
单株荚数 Pods per plant	32.4	24.0	29.0	22.6	41.6	21.0	30.0	40.0
荚长 (cm) Pod length	6.2	6.2	8.6	7.2	6.2	7.8	6.8	6.0
单荚粒数 Seeds per pod	6.6	6.6	8.0	7.2	5.0	5.4	7.0	6.2
百粒重 (g) 100-seed weight	13.2	13.5	9.6	12.1	14.3	11.5	13.0	15.5

1.3 评价的原理及分析步骤

多目标决策 (multiple objective decision making MODM) 是对未来活动的多个目标及途径做出合理选择,以寻求最优的行为方案。

1个MODM问题^[10]就是在给定空间或决策空间情况下,求解公式为:

$$DR_{x \in B} [f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)]$$

上式意为运用决策规划 DR (decision regularization), 按照指标 f₁、f₂、...、f_m 的数值,在决策方案集 B 中选择 1 个最优的方案。其中, f₁(X)、f₂(X)、...、f_m(X) 是目标函数,对给它的每一个评价目标方案 X,由它们评价指标因子的 f₁、f₂、...、f_m 决定。

1.3.1 建立一个评价矩阵 设有 1 个决策系统工程 D, 评价 n 个种质的优劣,有 m 个性状指标因子,按性状与定量相结合的原则,建立评价矩阵

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

1.3.2 对评价矩阵进行无量纲处理 对 x 做无量纲处理

$$y_{ij} = \begin{cases} (1) & x_{ij} / x_{j\max} \quad x_{j\max} = \max(x_{ij}) \\ & (i = 1, 2, \dots, m) \\ (2) & x_{j\min} / x_{ij} \quad x_{j\min} = \min(x_{ij}) \\ & (i = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (1)$$

式中 y_{ij} 为第 j 个种质在第 i 个评价指标因子上的隶属度, (1) 为望大型指标, (2) 为望小型指标。

由上述公式可对 x 做无量纲处理,得到 1 个模糊评价矩阵 Y

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix}$$

1.3.3 求评价指标的熵 在有 m 个性状评价指标, n 个被评价种质的决策问题中 (以下简称 (m, n) 评价问题), 第 i 个评价指标的熵^[11]为:

$$H_i = - \frac{1}{\lambda n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \lambda f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

式中 f_{ij} = $\frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}}$ 并假定当 f_{ij} = 0 时 f_{ij} λ f_{ij} = 0

熵是不确定性的度量,熵值越小,表明相应的评

价准则上的信息量越有效, 即该性状对作物产量的影响性越大。

1 3 4 求出评价指标的熵权 在 (m, n)评价问题中, 第 i个指标的熵权为:

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad 0 \leq W_i \leq 1$$

$$\text{且 } \sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

可见指标的熵越大, 其熵权越小, 该性状指标越不重要。

各性状因子, 影响种质的程度不同, 依据其权重, 得到一更加合理的加强矩阵。

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 y_{11} & w_1 y_{12} & \dots & w_1 y_{1n} \\ w_2 y_{21} & w_2 y_{22} & \dots & w_2 y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_m y_{m1} & w_m y_{m2} & \dots & w_m y_{mn} \end{pmatrix}$$

1 3 5 求种质优劣值向量 根据得到的熵和无量纲化的矩阵, 可以得到各种质的优劣值向量。

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n) =$$

$$(w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix}$$

0.7909	0.7909	0.9886	1.0000	0.8700	0.8447	0.8286	0.8447
0.6290	0.6094	1.0000	0.8478	0.7800	0.7647	0.6290	0.6290
0.9600	0.9200	0.9800	0.8200	1.0000	1.0400	0.8600	0.8200
0.6111	0.9778	0.7774	0.8527	0.7801	1.0000	0.6340	0.7074
0.9310	0.8276	0.6897	0.9655	0.7586	0.5517	0.8966	1.0000
0.9487	0.8462	0.9295	1.0256	0.9615	0.9103	0.9615	1.0000
0.7788	0.5769	0.6971	0.5433	1.0000	0.5048	0.7212	0.9615
0.7209	0.7209	1.0000	0.8372	0.7209	0.9070	0.7907	0.6977
0.8250	0.8250	1.0000	0.9000	0.6250	0.6750	0.8750	0.7750
0.8516	0.8710	0.6194	0.7806	0.9226	0.7419	0.8387	1.0000

由 V 值的大小可以得出作物种质优劣的排序。

1 3 6 求解种质指标值的标准差及相对贴近度 理想种质的目标解为:

$$D^+ = (d_1^+, d_2^+ \dots d_m^+)^T \quad (4)$$

式中 $d_i^+ = \max | c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in} |, c_{ij} = w_i y_{ij}$
 $i = 1, 2, \dots, n$

负理想种质的目标解为:

$$D^- = (d_1^-, d_2^-, \dots, d_m^-)^T \quad (5)$$

式中 $d_i^- = \min | c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}, i = 1, 2, \dots, m |$

(1)某一种质与理想种质目标解的标准差

$$e_j^+ = \sqrt{\frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^m (c_{ij} - d_i^+)^2} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

同样与负理想种质目标解的标准差

$$e_j^- = \sqrt{\frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^m (c_{ij} - d_i^-)^2} \quad (7)$$

依据决策的原则, 待测种质与理想种质目标解的标准差越小越好, 而与负理想的标准差越大越好。

(2)某一种质与理想种质目标的相对贴近度

$$e_j = \frac{e_j^-}{e_j^+ + e_j^-} \quad (8)$$

依据贴近度大小排序, 贴近度越大, 种质越优化。

2 结果与分析

依据公式 ① 对表 1 的数据进行无量纲处理得 Y, 其中全生育期、营养生长期、株高为望小指标, 其他为望大指标。

根据得到的权重和无量纲化的矩阵可得到各种质优劣值向量:

$$V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8) = W \times Y = (0.1298, 0.1185, 0.1251, 0.1210, 0.1354, 0.1125, 0.1228, 0.1350)$$

归一化并依据公式 ②和公式 ③求得熵和熵权:

$$H_i = (0.9984, 0.9930, 0.9985, 0.9932, 0.9927, 0.9995, 0.9867, 0.9965, 0.9955, 0.9960)$$

$$W_i = (0.0318, 0.0140, 0.0305, 0.1349, 0.1465, 0.0100, 0.2656, 0.0705, 0.0902, 0.0801)$$

由决策原则, V 越大, 种质越优。因此供试 8 个种质从优到劣的次序为 $K_5, K_8, K_1, K_3, K_7, K_4, K_2, K_6$, 即 B0076Q, B01805, B00091, B00651, B0167Q

B00655, B00388, B00774

下面再从种质指标值的标准差和相对贴近度来进一步验证。得到加权矩阵 C 。

$$C = \begin{pmatrix} 0.0036 & 0.0036 & 0.0045 & 0.0046 & 0.0040 & 0.0039 & 0.0038 & 0.0039 \\ 0.0150 & 0.0145 & 0.0238 & 0.0202 & 0.0185 & 0.0182 & 0.0150 & 0.0150 \\ 0.0040 & 0.0038 & 0.0040 & 0.0034 & 0.0041 & 0.0043 & 0.0035 & 0.0034 \\ 0.0130 & 0.0208 & 0.0165 & 0.0181 & 0.0166 & 0.0213 & 0.0135 & 0.0151 \\ 0.0206 & 0.0183 & 0.0153 & 0.0214 & 0.0168 & 0.0122 & 0.0198 & 0.0221 \\ 0.0013 & 0.0011 & 0.0012 & 0.0014 & 0.0013 & 0.0012 & 0.0013 & 0.0013 \\ 0.0358 & 0.0265 & 0.0320 & 0.0249 & 0.0459 & 0.0232 & 0.0331 & 0.0442 \\ 0.0079 & 0.0079 & 0.0110 & 0.0092 & 0.0079 & 0.0100 & 0.0087 & 0.0077 \\ 0.0114 & 0.0114 & 0.0139 & 0.0125 & 0.0087 & 0.0094 & 0.0121 & 0.0108 \\ 0.0103 & 0.0105 & 0.0075 & 0.0094 & 0.0112 & 0.0090 & 0.0101 & 0.0121 \end{pmatrix}$$

由公式 ④ ⑥ 得 8 个种质指标值与理想种质的标准差为:

$$e_j^+ = (0.0053, 0.0071, 0.0054, 0.0070, 0.0036, 0.0083, 0.0058, 0.0039)$$

同理 8 个种质指标值与负理想种质的标准差为:

$$e_j^- = (0.0049, 0.0036, 0.0047, 0.0041, 0.0076, 0.0030, 0.0042, 0.0075)$$

由公式 ⑧ 求种质与理想种质的相对贴近度:

$$e_j = (0.4817, 0.3323, 0.4660, 0.3694, 0.6813, 0.2663, 0.4220, 0.6580)$$

由决策原则, 种质指标值与理想种质的标准差

越小, 种质越优; 种质指标值与负理想种质的标准差越大, 种质越优; 种质指标值与理想种质的贴近度越大, 种质越优。因此, 这 8 个种质从优到劣的顺序为 $K_5, K_8, K_1, K_3, K_7, K_4, K_2, K_6$ 。为了便于比较, 各目标值向量除以其最大值得到优序度分别为 0.9586, 0.8755, 0.9239, 0.8936, 1, 0.8311, 0.9069, 0.9970。

从这里同样可以得出 8 个材料由优到劣的顺序依次为 $K_5, K_8, K_1, K_3, K_7, K_4, K_2, K_6$ (图 1)。

因此, 8 个供试小豆种质材料从优到劣的次序为 B0076Q, B01805, B00091, B00651, B0167Q, B00655, B00388, B00774。

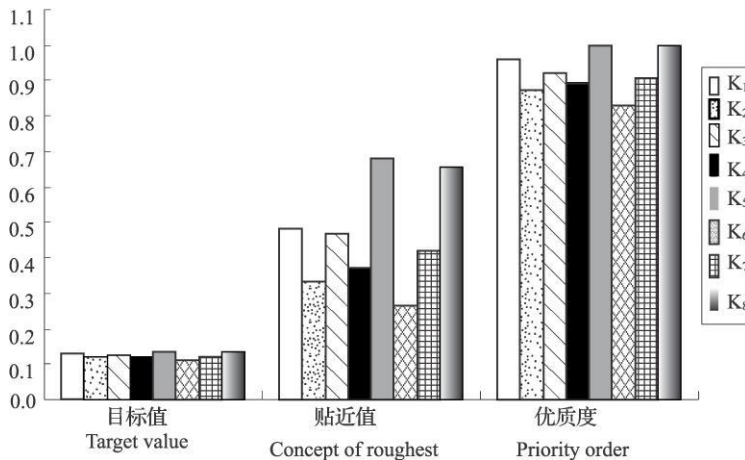


图 1 8 个小豆种质评价直方图

Fig 1 Eight adzuki bean genpplams eevaluation factor in tutionistic picture

3 讨论

在评价过程中, 以不同性状为指标, 其评价结果不同。以材料 B00766 为例, 单荚粒数最少, 株高、生育期、主茎节数、荚长中等, 单株荚数最多, 而运用多目标决策法的评价结果是 B00766 排在第 1 位, 综合评价最优。可见, 仅以某个性状来评价材料的优

劣有失公正, 不能全面正确地反映材料的优劣。因此, 在评价过程中应统筹各性状, 对材料进行综合评价。

综合评价作物种质的一般步骤: 第一, 确定评价因子; 第二, 对每一评价种质确定各个评价因子的值; 第三, 把各个评价因子的值写成矩阵形式, 对它进行标准化、归一化, 确定熵权, 通过计算得到各评

价种质的优劣。

本文采用多目标决策分析, 基于系统工程理论的优化模型、模糊技术、双基点法等先进、实用的技术手段, 通过定性与定量的有机结合, 成功地运用到作物种质综合评价中, 它克服了同异分析法^[12-13]、DTOPSIS法评价种质中人为确定理想种质和权重的弊端, 使作物的评价更科学、更合理, 且与灰色关联度法相比其原理简单, 计算较为简便。

运用该模型评价种质关键在于评价因子的确定, 不同作物、相同作物不同的生态区, 其评价因子有所不同, 应根据实际情况慎重选取。某些因子很难确定为望大型指标、望小型指标, 本文小豆的全生育期、营养生长期、株高定为望小指标, 其他为望大指标, 是根据当前育种目标建立的, 矮秆、早熟是小豆育种的当前目标。因此, 在模型中对评价因子望大型指标、望小型指标的确定至关重要。

基于熵权的多目标决策评价模型, 对少量种质的多个性状进行综合评价, 可以客观地评价种质的优劣, 在评估种质的方法上有了进步。该方法除评价的种质数量受限于依计算机内存大小外, 既不能反映种质的稳定性, 也不能充分肯定该种质的推广价值, 有较大的局限性。但是, 结合温振民等^[14]提出的高稳系数法计算出各种质的高稳系数, 测定种

质的丰产、稳产性, 可以弥补该模型的部分不足。

参考文献

- [1] 刘录祥, 孙其信, 王士芸. 灰色系统理论应用于作物新种质综合评价初探 [J]. 中国农业科学, 1989 22(3): 22-27
- [2] 卢为国, 李卫东, 梁慧珍, 等. DTOPSIS法综合评价大豆新种质的初步探索 [J]. 中国油料作物学报, 1998, 20(3): 22-26
- [3] 马继凤, 赵政文. 灰色关联分析在大豆种质综合评判中的研究 [J]. 作物研究, 1995 9(3): 34-36
- [4] 刘自华, 龚振平. 用模糊数学综合评价作物种质区域试验初探 [J]. 北京农学院学报, 1998 13(4): 15-20
- [5] 朱文慧, 郭俊强, 戴锋. 基于熵权的多目标决策法在武器装备研发中的应用 [J]. 军事运筹与系统工程, 2009(1): 16-18
- [6] 曾雨, 张江山. 熵权多目标决策在水库富营养化评价中的应用 [J]. 环境科学导报, 2008 27(2): 83-84
- [7] 朱庆林, 郭佩芳. 港口资源基于熵权的多目标决策评价模型 [J]. 山东农业大学学报, 2005 36(2): 258-266
- [8] 朱庆林, 郭佩芳. 港口资源基于熵权的多目标决策评价理论及应用 [J]. 大连海事大学学报, 2005 31(4): 44-49
- [9] 韩立岩, 汪培庄. 应用模糊数学 [M]. 北京: 首都贸易大学出版社, 1998: 11-25
- [10] 邱菀华. 管理决策与应用熵学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 140-254
- [11] 程启月, 邱菀华, 李建云. 不确定性动态军事指挥决策的模糊熵分析 [J]. 系统工程理论方法应用, 2002, 11(3): 231-234
- [12] 卢道文, 孙海潮, 芦连勇, 等. 同异分析方法在玉米杂交种评价中的应用 [J]. 玉米科学, 2005 13(2): 42-44
- [13] 郭瑞林, 杨春玲, 关立军. 小麦种质区域试验的同并分析法研究 [J]. 麦类作物学报, 2001(1): 60-63
- [14] 温振民, 高永科. 用高稳系数法估算玉米杂交种高产稳产性的探讨 [J]. 作物学报, 1994 20(4): 508-512