



改进雷达图分析法在大豆品种选育中的应用

常世豪,耿臻,杨青春,舒文涛,李金花,李琼,张保亮,张东辉

(周口市农业科学院 经济作物研究所,河南 周口 466001)

摘要:为解决传统雷达图在分析过程中存在因评价指标排序不同而引起最终结果不一致以及相邻评价指标相互影响的问题,本研究对传统雷达图分析法进行改进,引入评价指标权重,并根据权重大小首次采用“座次”排序方法对评价指标进行排序,以相邻评价指标的角度平均值作为夹角值,并计算评价对象所对应雷达图的 n 边形面积和周长,再引入评价函数计算各评价对象的综合评价值进行定量评价。以 2018 年国家黄淮海夏大豆区域试验南片 B 组的 15 个参试品种(系)为例绘制雷达图,周豆 33 号、兴豆 6 号和荷豆 33 号评价指标协调性较好,临豆 11、山宁 23 和中黄 202 评价指标协调性较差,其它 9 个评价对象协调性趋于中间。改进雷达图分析法评价结果与仅依靠产量的评价结果基本一致,但稍有不同,排名结果差别最大的为兴豆 6 号、祥丰 2 号和临豆 11。利用改进的雷达图分析法能够弥补仅对产量单一性状进行评价中存在的不足。

关键词:大豆;品种选育;雷达图;定量;综合评价

Application of Improved Radar Chart Analysis Method in Soybean Variety Selection and Breeding

CHANG Shi-hao, GENG Zhen, YANG Qing-chun, SHU Wen-tao, LI Jin-hua, LI Qiong, ZHANG Bao-liang, ZHANG Dong-hui

(Cash Crop Research Institute, Zhoukou Academy of Agricultural Sciences, Zhoukou 466001, China)

Abstract: In order to solve the problem of inconsistency of final results caused by different order of evaluation indexes and interaction between adjacent evaluation indexes in the analysis process of traditional radar chart, the traditional radar chart analysis method was improved by introducing the weight of evaluation indexes. The ranking method of ‘seat order’ was adopted for the first time to sort the evaluation indexes base on the weight of valuation indexes. The average value of the angles of adjacent evaluation indexes was taken as the included angle value. This study calculated the n -sided area and perimeter of the evaluation object, introduced the evaluation function to calculate the comprehensive evaluation value of each evaluation object and carried out quantitative evaluation. The 15 testing varieties in south group B of Huang-Huai-Hai summer sowing soybean were used as the evaluation object to map radars. The compatibility of evaluation indexes of Zhoudou 33, Xingdou 6 and Hedou 33 were better, the compatibility of Lindou 11, Shanning 23 and Zhonghuang 202 were worse, and the other 9 evaluation objects tend to be in the middle. The evaluation results of the improved radar chart analysis method were basically consistent with that of only relying on the yield, and with a little difference. Xingdou 6, Xiangfeng 2 and Lindou 11 had the biggest difference in ranking results. It is suggested that the improved radar chart analysis method could make up for the deficiency in the evaluation of single character.

Keywords: Soybean; Variety selecting; Radar map; Quantify; Comprehensive assessment

大豆品种的优劣不仅取决于产量,而且与外观和内在品质等指标相关,目前大豆区域试验主要以产量作为评价指标,对其它性状考虑较少。如何利用综合评价方法客观反映不同大豆品种(系)的优劣,是有效筛选到各性状指标协调、符合市场需求

的优良品种的关键。雷达图分析法既能定性又能定量地对含有多变量指标的评价对象进行综合评价,并将结果以直观、形象的二维平面图的形式展示多指标变化规律的统计分析方法^[1]。

雷达图分析法常用于对电力、医学、财务、教育

收稿日期:2020-04-27

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0101406);河南省现代农业产业技术体系专项资金。

第一作者简介:常世豪(1990-),男,硕士,研究实习员,主要从事大豆遗传改良和栽培技术利用研究。E-mail:792696241@qq.com。

通讯作者:耿臻(1969-),女,研究员,主要从事大豆遗传改良、新品种选育及大豆高产栽培技术开发与利用研究。E-mail:gengzhen0616@163.com。

等领域中评价对象的综合评价^[2-7]。近年来雷达图分析法在农业领域也得到了应用,如最优耕层结构的评价^[8]、马铃薯品种综合评价^[9]、玉米区域试验品种综合评价^[10],特别是在烤烟外观、烟叶化学成分协调性、感官质量及品种区域试验的综合评价中利用较多^[11-13]。传统的雷达图分析法虽能够通过雷达图大致得到各评价对象的综合表现情况,通过面积和周长的评价函数得到评价对象的综合评价价值,但仍存在一些不足。郑惠莉等^[14]在研究中发现,在分析时因主观因素使各种评价指标在雷达图中的排列顺序不同,得到的 n 边型面积和周长可能不同,使得综合评价值也可能不同,最终因评价指标的排列顺序不同而得到的结果可能不一致;王永瑜^[15]在分析雷达图定量综合评价方法的时候也发现上述问题,并提出了建立“最为合理指标排列顺序”不具有可操作性,而用评价指标所有可能排列顺序下的面积和周长的平均值进行综合评价的观点;魏春阳等^[16-17]在利用雷达图进行烤烟外观质量综合评价和烤烟烟叶主要化学成分协调性综合评价的过程中,不仅发现各评价指标排列顺序存在主观性而导致不同评价者得到的分析结果存在差异的问题,还发现因各评价指标之间夹角的确定方法而导致评价结果存在差异的问题;李潇潇等^[18]将评价指标赋予权重,并根据权重大小决定相邻 2 个评价指标夹角的大小,通过计算 n 个评价指标在雷达图中所有可能的排列顺序下围成的 n 边型的面积和周长之和,求得 n 边形平均面积和平均周长,面积和周长的平均值是唯一的,综合评价值的大小仅取决于指标的取值而与 n 个指标的排列顺序无关;庄彦等^[19]和李国栋等^[20]在利用雷达图进行分析时,提出了利用扇形角平分线作为评价指标轴的方法,解决了评价指标排序问题对 n 边形面积和周长的影响,但是忽略了指标之间的相互影响;陈勇等^[21]通过构造扇形面积和弧长分别代表 n 多边形中三角形的面积和圆心角对应的边长,解决了因指标排列顺序不同而结果不一致的问题。乔鹏程等^[2]对评价指标赋予权重,并根据权重大小进行排序,并将角平分线作为评价指标轴,解决了评价指标的排序问题,能够在客观地体现评价指标权重的同时也体现了各指标之间的相互影响。

本研究对传统的雷达图分析法进行改进,对各评价指标赋予权重,利用“座次”法对评价指标进行排序,保证 n 边形面积和周长具有“唯一性”。采用

2018 年黄淮海夏大豆南片 B 组中 15 个参试大豆品种(系)的数据,探讨雷达图分析法在大豆品种选育过程中应用的可行性,为筛选评价指标协调、综合性状优良的大豆品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

将 2018 年国家黄淮海夏大豆区域试验总结中黄淮海南片 A 组的 15 个参试品种(系)作为评价对象,代码及名称详见表 1,中黄 13 为对照品种。

表 1 评价对象
Table 1 Evaluation objects

代码 Code	品种(系) Variety (line)	代码 Code	品种(系) Variety (line)
X1	荷豆 33 号 Hedou 33	X9	山宁 23 Shanning 23
X2	皇豆 11 Huangdou 11	X10	徐 0112-24 Xu 0112-24
X3	祥丰 2 号 Xiangfeng 2	X11	临豆 11 Lindou 11
X4	蒙 0811 Meng 0811	X12	圣豆 4 号 Shengdou 4
X5	周豆 33 Zhoudou 33	X13	祥丰 4 号 Xiangfeng 4
X6	驻豆 26 Zhudou 26	X14	中黄 202 Zhonghuang 202
X7	荷豆 36 号 Hedou 36	X15	中黄 13 Zhonghuang 13
X8	兴豆 6 号 Xingdou 36		

1.2 方法

选用粗蛋白含量、主茎节数、百粒重、单株粒数、株高、有效分枝数、单株有效荚数、单株粒重、粗脂肪含量和产量等 10 个性状作为评价指标,分别用代码 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9 和 P10 表示。除株高和有效分枝数为中性指标外,其余为正向指标。

首先按照公式(1)和(2)对正向指标和中性指标数据进行标准化处理。

$$R_{ij} = r_{ij} / \max r_{ij}$$

(1)

$$R_{ij} = r_0 / (|r_{ij} - r_0| + r_0)$$

(2)

式中, R_{ij} 为评价指标转化后的数值, r_{ij} 为评价指标的原始数值, r_0 为第 j 个中性评价指标的平均值, $\max r_{ij}$ 为第 j 个正向评价指标的最大值。

再根据公式(3)计算得到各评价指标的变异系数 C_i ,根据公式(4)求得各评价指标的权重 W_i ,根据公式(5)求得各评价指标的角度 θ_i ,根据公式(6)计算相邻 2 个指标间的夹角 α_i 。根据各评价指标权重的大小,按照中国式“座次”的方式进行排序,例如权重最大的居中,第二名居第一名左侧,第三名居第一名右侧,第四名居第二名左侧,如此按照“一左一右”的“座次”顺序进行排列,固定评价指标的

排列位置。

$$C_i = \sigma_i / \bar{R}_i \tag{3}$$

$$W_i = C_i / (C_1 + C_2 + \cdots + C_n) \tag{4}$$

$$\theta_i = 360^\circ \times W_i \tag{5}$$

$$\alpha_i = (\theta_i + \theta_j) / 2 \tag{6}$$

式中, C_i 为第*i*个评价指标的变异系数, σ_i 为第*i*个评价指标的标准差, \bar{R}_i 为第*i*个评价指标的平均值; W_i 为第*i*个评价指标的权重, n 为评价指标数; θ_i 为第*i*个评价指标对应的角度; α_i 为相邻2个指标(*i*和*j*)的夹角。

随后,根据公式(7)和(8)计算多边形面积*S*,根据公式(9)和(10)计算多边形周长*L*。

$$S_i = \frac{1}{2} \times R_i \times R_j \times \sin_i \tag{7}$$

$$S = S_1 + S_2 + \cdots S_n \tag{8}$$

$$L_i = (R_i^2 + R_j^2 - 2R_iR_j\cos\alpha_i)^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

$$L = L_1 + L_2 + \cdots L_n \tag{10}$$

其中,*S*指面积;*L*指周长;*i*和*j*是指相邻的2个评价指标。

最后引入关于面积和周长的综合评价函数*Y*,根据公式(11)和(12),计算评价对象的综合评价价值,并对其进行大小排序,*Y*值越大证明综合性状越

好,相反值越小综合性状越差。

$$V_x = 4\pi \times S / L^2 \tag{11}$$

$$Y = (S \times V_x)^{\frac{1}{2}} \tag{12}$$

1.3 数据分析

利用 Excel 2010 进行数据处理及雷达图绘制等。

2 结果与分析

2.1 评价指标的标准化处理

评价指标中产量、主茎节数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重、粗蛋白含量和粗脂肪含量都为正向指标,株高和有效分枝数为中性指标,将各评价指标值(表2)进行标准化处理(表3)。

2.2 评价指标权重的计算

分别计算得到各评价指标的变异系数*C_i*、权重*W_i*、角度*θ_i*和相邻两个指标间的夹角*α_i*,根据各评价指标权重的大小,按照“座次”的顺序进行排列,P6的权重最大,P5次之,则P5位于P6左侧,P7为第三位,位于P6右侧,P4为第四位,位于P5左侧,根据大小按照“座次”依次进行排序,最后形成一个圆,P1与P10相邻。

表2 15个评价对象的评价指标值
Table 2 Evaluation index value of 15 evaluation objects

评价对象 The evaluation object	评价指标 The evaluation index									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
X1	43.6	13.9	24.7	76.9	57.8	1.5	37.4	18.2	18.9	3007.5
X2	44.7	12.9	22.0	80.6	54.7	1.4	37.3	17.3	19.6	2937.0
X3	44.5	13.3	24.6	73.1	64.3	1.8	33.5	17.0	18.2	2959.5
X4	44.0	15.0	24.0	71.3	65.0	1.8	38.5	15.7	18.5	2787.0
X5	39.3	15.1	22.1	90.6	68.2	1.7	46.8	19.5	20.7	2988.0
X6	45.1	15.2	17.5	99.7	75.1	2.9	48.2	16.3	19.5	2781.0
X7	43.4	14.7	21.4	88.0	72.2	1.5	41.5	18.6	18.7	2988.0
X8	43.6	16.4	23.0	78.7	71.7	1.7	42.0	17.5	21.8	2740.5
X9	45.5	13.0	20.2	77.0	46.6	1.6	33.2	14.9	20.7	2760.0
X10	46.7	14.7	24.9	69.2	74.3	1.6	34.6	15.9	17.1	2766.0
X11	42.2	14.1	23.0	71.8	57.1	2.9	36.1	15.3	20.6	2820.0
X12	43.4	14.6	21.9	84.1	66.4	2.5	40.9	18.2	19.6	2919.0
X13	45.8	15.0	20.9	88.6	62.3	2.7	43.5	18.0	19.4	2971.5
X14	46.2	14.0	23.2	63.0	52.0	2.2	32.3	14.1	17.7	2515.5
X15	44.1	14.7	22.9	70.4	51.6	2.1	34.0	14.9	18.4	2694.0
均值 Mean	44.1	14.4	22.4	78.9	62.6	2.0	38.7	16.8	19.3	2842.3

表 3 评价指标原始数据的标准化处理

Table 3 The dimensionless treatment of original evaluation objects

评价对象 The evaluation object	评价指标 The evaluation index									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
X1	0.9340	0.8476	0.9920	0.7713	0.9285	0.8016	0.7759	0.9333	0.8708	1.0000
X2	0.9580	0.7866	0.8835	0.8084	0.8877	0.7706	0.7739	0.8872	0.9007	0.9766
X3	0.9524	0.8110	0.9880	0.7332	0.9739	0.9116	0.6950	0.8718	0.8382	0.9840
X4	0.9434	0.9146	0.9639	0.7151	0.9634	0.9116	0.7988	0.8051	0.8497	0.9267
X5	0.8410	0.9207	0.8876	0.9087	0.9182	0.8717	0.9710	1.0000	0.9499	0.9935
X6	0.9659	0.9268	0.7028	1.0000	0.8338	0.6874	1.0000	0.8359	0.8984	0.9247
X7	0.9291	0.8963	0.8594	0.8826	0.8673	0.8016	0.8610	0.9538	0.8602	0.9935
X8	0.9340	1.0000	0.9237	0.7894	0.8734	0.8717	0.8714	0.8974	1.0000	0.9112
X9	0.9751	0.7927	0.8112	0.7723	0.7963	0.8352	0.6888	0.7641	0.9494	0.9177
X10	1.0000	0.8963	1.0000	0.6941	0.8428	0.8352	0.7178	0.8154	0.7862	0.9197
X11	0.9032	0.8598	0.9237	0.7202	0.9190	0.6874	0.7490	0.7846	0.9467	0.9377
X12	0.9289	0.8902	0.8795	0.8435	0.9431	0.7973	0.8485	0.9333	0.9016	0.9706
X13	0.9807	0.9146	0.8394	0.8887	0.9949	0.7383	0.9025	0.9231	0.8910	0.9880
X14	0.9906	0.8537	0.9317	0.6319	0.8550	0.9061	0.6701	0.7231	0.8133	0.8364
X15	0.9441	0.8963	0.9197	0.7061	0.8504	0.9492	0.7054	0.7641	0.8474	0.8958

表 4 各评价指标对应的变异系数、权重、角度和夹角信息

Table 4 The variation coefficient, weight coefficient, angle and included angle of evaluation index

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
C_i	0.0398	0.0621	0.0840	0.1201	0.1385	0.2541	0.1250	0.0920	0.0629	0.0476
W_i	0.0388	0.0605	0.0818	0.1170	0.1350	0.2477	0.1218	0.0897	0.0613	0.0464
θ_i	13.9741	21.7852	29.4591	42.1297	48.5861	89.1745	43.8529	32.2881	22.0623	16.6880
α_i	17.8797	25.6222	35.7944	45.3579	68.8803	66.5137	38.0705	27.1752	19.3752	15.3310

2.3 雷达图绘制

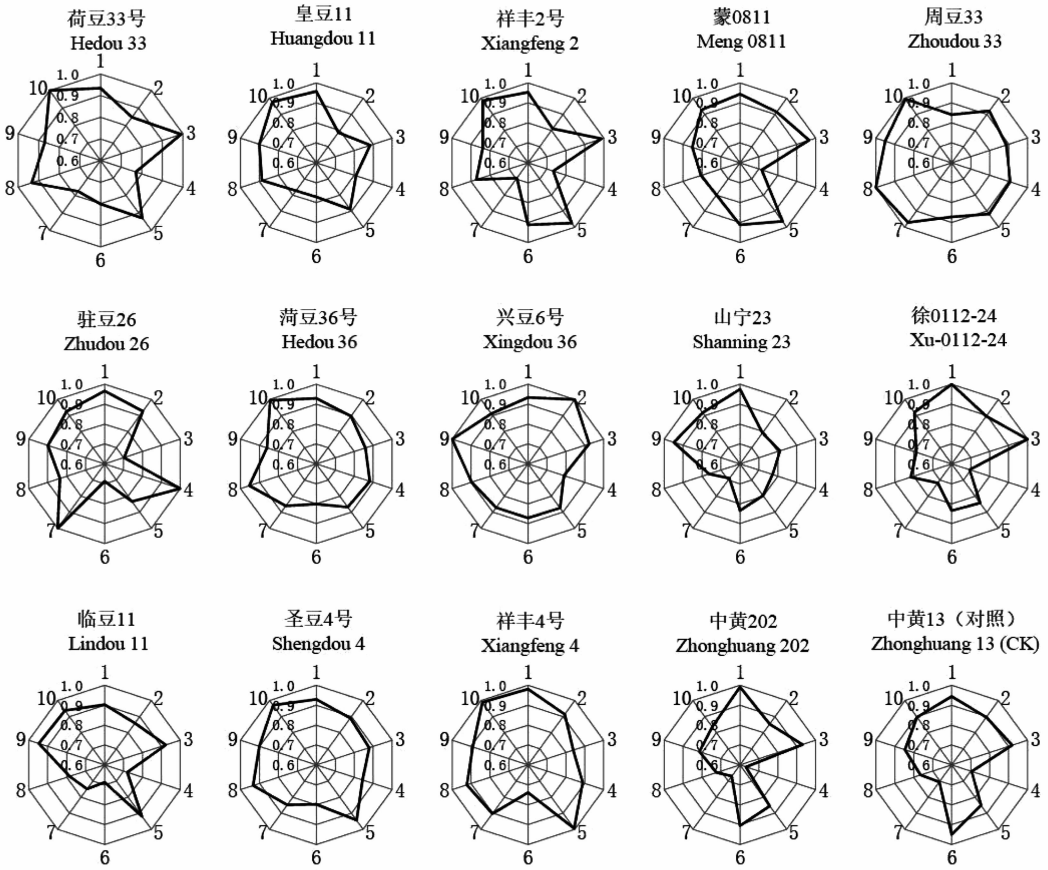
利用各评价指标的标准化处理数据和“座次”的排列顺序绘制雷达图,15 个评价对象中,周豆 33 号、兴豆 6 号和荷豆 33 号形状更趋近于圆形,说明三者评价指标协调性较好,临豆 11、山宁 23 和中黄 202 形状不规则,说明三者评价指标协调性较差,其它 9 个评价对象协调性趋于中间(图 1)。

2.4 面积、周长及综合评价值的计算

根据引入的面积和周长函数对各评价对象的综合评价结果表明,周豆 33 号(X5)、兴豆 6 号(X8)和荷豆 33 号(X1)为综合评价结果的前三名,综合评价值分别为 1.418 7、1.369 7 和 1.364 1;后三名为临豆 11(X11)、山宁 23(X9)和中黄 202

(X14),综合评价值分别为 1.227 1、1.210 0 和 1.178 0(表 5)。雷达图分析结果与产量分析结果基本一致,但稍有不同,差别最大的为兴豆 6 号(X8)、祥丰 2 号(X3)和临豆 11(X11)。兴豆 6 号(X8)在雷达图分析结果中排名第 2,但在产量结果中排名第 13,兴豆 6 号产量低于平均水平,但其主茎节数和粗脂肪含量指标在 15 个评价对象中最优,百粒重、单株有效荚数和单株粒重均高于平均水平;祥丰 2 号(X3)在雷达图分析结果中排名第 10,在产量结果中排名第 5,祥丰 2 号虽然产量高于平均水平,但并不特别突出,正向指标中除百粒重表现特别突出外,粗蛋白含量和单株粒数略高于平均水平,其余指标均低于平均水平;临豆 11(X11)在

雷达图分析结果中排名第 13,在产量分析结果中排名第 8,临豆 11 产量略低于平均水平,在正向指标中除百粒重和粗脂肪含量指标略高于平均水平外,其余正向指标均低于平均水平(表 2)。



1:粗蛋白含量; 2:主茎节数; 3:百粒重; 4:单株粒数; 5:株高; 6:有效分枝数; 7:单株有效荚数; 8:单株粒重; 9:粗脂肪含量; 10:产量。
1: The content of crude protein; 2: The number of the main stem node; 3: The 100-seed weight; 4: The seeds number per plant; 5: The plant height; 6: The number of effective branch; 7: The number of effective pod per plant; 8: The seeds weight per plant; 9: The content of crude fat; 10: Yield.

图1 参试品种(系)性状协调性雷达图
Fig.1 The radar chart reflecting indices coordination of the tested varieties(lines)

表5 综合评价结果
Table 5 The comprehensive evaluation result

评价对象 Evaluation object	雷达图分析 The analysis with radar chart				产量分析 The analysis of yield	
	面积	周长	综合评价值	排名	产量	排名
	S	L	Evaluating value	Ranking	Yield/(kg · hm ⁻²)	Ranking
X1	2. 0910	0. 8899	1. 3641	3	3007. 5	1
X2	1. 8777	0. 8625	1. 2726	8	2937. 0	6
X3	1. 9682	0. 8101	1. 2627	10	2959. 5	5
X4	2. 0146	0. 8554	1. 3127	7	2787. 0	9
X5	2. 2781	0. 8835	1. 4187	1	2988. 0	2
X6	1. 9468	0. 8202	1. 2636	9	2781. 0	10
X7	2. 0285	0. 8798	1. 3359	6	2988. 0	3
X8	2. 1195	0. 8851	1. 3697	2	2740. 5	13
X9	1. 7206	0. 8510	1. 2100	14	2760. 0	12

续表 5

评价对象 Evaluation object	雷达图分析 The analysis with radar chart				产量分析 The analysis of yield	
	面积	周长	综合评价值	排名	产量	排名
	S	L	Evaluating value	Ranking	Yield/(kg · hm ⁻²)	Ranking
X10	1. 8093	0. 8327	1. 2274	12	2766. 0	11
X11	1. 7644	0. 8534	1. 2271	13	2820. 0	8
X12	2. 0550	0. 8868	1. 3499	5	2919. 0	7
X13	2. 0932	0. 8719	1. 3510	4	2971. 5	4
X14	1. 7168	0. 8083	1. 1780	15	2515. 5	15
X15	1. 8505	0. 8550	1. 2579	11	2694. 0	14

3 讨 论

传统的雷达图分析法是将评价对象的 n 个评价指标的数值标准化后,按比例投影在 1 个由单位圆的圆心引出的平分圆心角的 n 条数轴上,并依次连接数轴上的端点,形成 1 个 n 边形,此图因形似导航雷达显示屏上的图形而得名。利用围成的 n 边形的面积和周长对评价对象进行评价,面积越大说明综合性状越好,在面积一定的情况下,周长越短,n 边形越趋近于圆,说明评价对象的 n 个评价指标的协调性越好。构建关于面积和周长的评价函数,对评价对象进行综合性评价,综合评价值越大,说明评价对象综合性状越好。本研究在总结前人改进方法优缺点的基础上,引入评价指标权重,根据权重大小,首次采用“座次”的方法使评价指标的排列顺序“唯一”,解决了因评价指标排序“不唯一”而得到最终结果可能不一致的问题,也避免了利用所有评价指标排序情况下计算平均面积时结果繁琐的问题。根据权重大小赋予各评价指标角度值,并把两个评价指标角度的平均值作为两个指标的夹角,与“座次”的排序方法结合,权重大的评价指标相邻、权重小的评价指标相邻,考虑到了评价指标的相互影响,避免了权重大的指标与权重小的指标之间的相互影响而导致计算权重面积大和周长的指标结果偏小、权重小的指标偏大的问题,使最终结果更加真实客观。

利用改进的雷达图分析法对大豆品种区试中得到的产量、品质和农艺性状指标进行综合评价,利用形象、直观的雷达图充分展现各品种性状的协调性。在评价对象数量较少时,根据雷达图各评价指标的协调性能够直接进行定性评价;在评价对象较多时需要引入评价函数,计算得到综合评价值,对评价对象进行定量评价。

4 结 论

为解决传统雷达图分析法存在因评价指标排列顺序不同而引起的多边形面积和周长不唯一的缺点,本研究引入评价指标权重、采用“座次”的方法对评价指标进行排序,并以两个评价指标角度的平均值作为两个指标的夹角,计算多边形的面积和周长,引入评价函数,以综合评价值对评价对象进行定量评价。采用此方法对 2018 年黄淮海夏大豆 15 个品种的综合评价结果与仅依靠产量进行评价所得到的结果稍有不同,能够弥补仅对产量单一性状进行评价的不足。经过改进的雷达图分析法在大豆品种试验综合评价中具有较强的可行性。

参考文献

[1] Zhang H J, Hou Y Y, Zhang J Y, et al. A new method for nondestructive quality evaluation of the resistance spot welding based on the radar chart method and the decision tree classifier [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 78: 841-851.

[2] 乔鹏程, 吴正国, 李辉. 基于改进雷达图法的电能质量综合评估方法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 88-92. (Qiao P C, Wu Z G, Li H. Power quality synthetic evaluation based on improved radar chart[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(6): 88-92.)

[3] 朱唯韦. 基于主客观权重的配电系统电能质置综合评估[D]. 合肥: 安徽大学, 2019. (Zhu W W. Power quality evaluation of distribution system based on subjective and objective weights[D]. Hefei: Anhui University, 2019.)

[4] 程志友, 朱唯韦, 陶青, 等. 基于改进雷达图的配电系统电能质量评估方法[J]. 电测与仪表, 2019, 56(14): 34-39. (Cheng Z Y, Zhu W W, Tao Q, et al. Power quality evaluation method of distribution system based on improved radar chart[J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2019, 56(14): 34-39.)

[5] 王梓琪, 肖思曲, 程雨, 等. 贵州省医疗保障能力综合评价: 基于 TOPSIS、聚类、雷达图实证研究[J]. 中国医院, 2019, 23

(12):17-20. (Wang Z Q, Xiao S Q, Cheng Y, et al. The comprehensive evaluation of medical security capability in Guizhou Province: An empirical study based on TOPSIS, clustering and radar chart[J]. Chinese Hospitals,2019,23(12):17-20.)

[6] 李健,蔡红丹,申利未,等. 基于EGM-雷达图分析法的数字医疗信息服务水平综合评价[J]. 医学与社会,2020,33(2):39-44. (Li J, Cai H D, Shen L W, et al. Comprehensive evaluation of digital medical information service level based on EGM-Radar chart analysis[J]. Medicine and Society, 2020, 33 (2): 39-44.)

[7] 苏顺宝. 基于多维评价模型的长春市某中学教学评价系统的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017. (Su S B. Study on the teaching evaluation system of a middle school in Changchun based on Multi-dimensional evaluation model [D]. Dalian: Dalian Maritime University,2017.)

[8] 白伟,孙占祥,张立祯,等. 基于雷达图分析的耕层构造效应综合评价[J]. 生态学杂, 2020(4):1369-1376. (Bai W, Sun Z X, Zhang L Z, et al. Comprehensive evaluation of plough layer structuring effect based on radar chart method[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020(4):1369-1376.)

[9] 邓禄军,夏锦慧,卢扬,等. 雷达图分析法在马铃薯品种特征综合评价中的应用[J]. 贵州农业科学,2013,41(7):59-62. (Deng L J, Xia J H, Lu Y, et al. Application of radar chart method in comprehensive evaluation on varietal characteristics of potato[J]. Guizhou Agricultural Science,2013,41(7):59-62.)

[10] 刘哲,王虎,杨建宇,等. 品种筛选多环境测试作图分析方法[J]. 农业工程学报,2011,27(10):142-147. (Liu Z, Wang H, Yang J Y, et al. Analytical graphics for multi-environment trials of breed selection [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(10):142-147.)

[11] 封俊. 基于VBA 雷达图的攀枝花烤烟质量综合分析[D]. 成都: 四川农业大学,2017. (Feng J. Base on VBA radar chart of flue-cured tobacco quality comprehensive analysis in Panzhuhua [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University,2017.)

[12] 杜薇,王昌全,李冰,等. 优化雷达图法在烤烟上部叶外观质量综合评价中的应用[J]. 中国烟草科学,2015,36(1): 24-29. (Du W, Wang C Q, Li B, et al. Application of optimized radar-graph method on comprehensive evaluation of appearance quality of upper leaves of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2015,36(1):24-29.)

[13] 程君奇,曹景林,李亚培,等. 基于雷达图的湖北烤烟主要化学成分协调性综合评价[J]. 湖北农业科学,2016,55(13): 3387-3389. (Cheng J Q, Cao J L, Li Y P, et al. Comprehensive evaluation on coordination characters of flue-cured tobacco main chemical components base on radar graph[J]. Hubei Agricultural Sciences,2016,55(13):3387-3389.)

[14] 郑惠莉,刘陈,翟丹妮. 基于雷达图的综合评价方法[J]. 南京邮电学院学报(自然科学版),2001(2):75-79. (Zheng H L, Liu C, Zhai D N. Comprehensive evaluation method based on radar chart [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2001 (2): 75-79.)

[15] 王永瑜. 雷达图定量综合评价方法中存在的问题及改进措施[J]. 统计教育,2007(1): 18-20. (Wang Y Y. Problems and improvement measures in the quantitative comprehensive evaluation method of radar map [J]. Statistical Education, 2007 (1): 18-20.)

[16] 魏春阳,王信民,蔡宪杰,等. 基于雷达图的烤烟外观质量综合评价[J]. 烟草科技,2008(12):57-60. (Wei C Y, Wang X M, Cai X J, et al. Comprehensive evaluation of appearance quality of flue-cured tobacco based on radar graph[J]. Tobacco Science and Technology, 2008(12):57-60.)

[17] 魏春阳,王信民,蔡宪杰,等. 基于雷达图的烤烟烟叶主要化学成分协调性综合评价方法[J]. 中国烟草学报,2009,15(5): 48-53, 57. (Wei C Y, Wang X M, Cai X J, et al. Radar-graph based comprehensive evaluation method on main chemical components and their coordination characters in flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2009,15(5):48-53, 57.)

[18] 李潇潇,高钰珙,游海燕,等. 雷达图法的改进及其在军队医院卫勤信息化评价中的应用[J]. 解放军医院管理杂志, 2009,16(1):18-20. (Li X X, Gao Y Q, You H Y, et al. Improvement of radar chart and its application in health service information-based evaluation of military hospitals [J]. Hospital Administration Journal of Chinese People's Liberation Army, 2009,16(1):18-20.)

[19] 庄彦,康重庆,胡江溢,等. 售电市场质量及其综合评价[J]. 电力系统自动化,2009,33(3): 25-29. (Zhuang Y, Kang C Q, Hu J Y, et al. Quality of power sale market and its comprehensive assessment[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(3):25-29.)

[20] 李国栋,李庚银,杨晓东,等. 基于雷达图法的电能质量综合评估模型[J]. 电力系统自动化,2010,34(14):70-74. (Li G D, Li G Y, Yang X D, et al. A comprehensive power quality evaluation model based on radar chart method[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(14):70-74.)

[21] 陈勇,陈潇凯,李志远,等. 具有评价结果唯一性特征的雷达图综合评价法[J]. 北京理工大学学报,2010,30(12):1409-1412. (Chen Y, Chen X K, Li Z Y, et al. Method of radar chart comprehensive evaluation with uniqueness feature[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology,2010,30(12):1409-1412.)