

# 基于同一度的亲本分类方法研究

郭瑞林<sup>1</sup> 周 阳<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>河南省安阳市农业科学研究所,河南安阳 455000; <sup>2</sup>中国农业科学院作物育种栽培研究所,北京 100081)

**摘要** 将集对分析理论与模糊聚类原理相结合,提出了一种新的亲本分类分析方法。运用这种方法,对20个亲本进行了分类。结果表明,这种方法对于指导杂交组合配制,培育作物新品种具有重要意义。10个小麦新品种培育成功的事实,从育种实践的角度证明了这种方法的可行性和可靠性。在此基础上,讨论了这种方法的应用前景及其优点和尚需改进的方面。

**关键词** 同一度;亲本分类;集对分析;模糊聚类  
中图分类号: S512;O212

## A Method for Parent Cluster Based on the Identical Degree

GUO Rui-Lin<sup>1</sup>, ZHOU Yang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Anyang Institute of Agricultural Sciences, Anyang 455000, Henan; <sup>2</sup>Institute of Crop Breeding and Cultivation, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract** Based on the theory of set pair analysis and the principle of fuzzy cluster, a new analysis method of parent cluster was advanced. 20 parents were classified by means of the method. The results showed that the method was useful in the guidance of parental combination. The feasibility and reliability of the method in cross breeding practices were confirmed by the facts that 10 new wheat cultivars had been developed successfully. Based on this, its application prospect and their respects to be improved were discussed.

**Key words** Identical degree; Parent cluster; Set pair analysis; Fuzzy cluster

亲本分类是配制杂交组合的依据之一。我们曾运用聚类分析<sup>[1~3]</sup>、模糊聚类分析<sup>[4~6]</sup>、和亲本灰色分类<sup>[7]</sup>等方法,对若干个亲本进行了分类,并用分类结果指导杂交组合配制,选育出了豫麦57、安麦1号等小麦新品种,使亲本分类研究向前迈进了一步。本文在此基础上,将集对分析<sup>[8]</sup>的原理与方法引入亲本分类,并与模糊聚类相结合,提出了一种新的亲本分类方法。将其分类结果与我国黄淮南片已培育成功的10个小麦新品种的育种实践相印证,认为这种方法具有一定的可行性和可靠性。现报告如下。

### 1 原理与方法

#### 1.1 原理

设  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  是待分类亲本的全体。其中,每个亲本  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  有  $m$  个观察性状,构成性状集  $B = (x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(m)})$ 。按照集对分

析思想,每两个亲本之间(即两个性状集)构成一个集对。可以用同一度来描述它们之间的关系。同一度越大,则差异越小,表示两个亲本的性状表现越接近。设  $r_{ij}^{(k)}$  为亲本  $x_i$  与亲本  $x_j$  第  $k$  个性状的同一度。则可令

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} x_i^{(k)} / x_j^{(k)} & (\text{当 } x_i^{(k)} < x_j^{(k)} \text{ 时}) \\ x_j^{(k)} / x_i^{(k)} & (\text{当 } x_i^{(k)} > x_j^{(k)} \text{ 时}) \end{cases} \quad (1)$$

据此,建立同一度矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times n}$  (3)

(3)式中,  $r_{ij}$  为亲本  $x_i$  与亲本  $x_j$  多个性状的综合同一度。

$$r_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m r_{ij}^{(k)} \quad (4)$$

要对所论集合进行分类,须使集合呈等价关系,即应满足自反性、对称性和传递性3个条件。而综合同一度矩阵  $R$  仅满足对称性和自反性,不满足传递性,还不是一个等价矩阵。因此需求出  $R$  的传递闭包  $R^* = t(R)$ 。经一系列的非恒等变换,将  $R$  改造

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(02EFN21400396)。

作者简介: 郭瑞林(1961-),男,河南林州人,研究员,研究方向:高产、优质、多抗小麦新品种选育;作物灰色育种学的建构及应用。

Received(收稿日期):2003-04-21, Accepted(接受日期):2003-11-20.

成模糊等价矩阵  $R^*$ 。具体方法是遵循模糊合成运算法则,对  $R$  进行自乘运算。即

$$r_{ij} = \bigwedge_{p=1}^n (r_{ip} \vee r_{pj}), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

(5)式中,“ $\vee$ ”表示取大运算,“ $\bigwedge$ ”表示取小运算。直到

$$R^{2p} = R^p \quad (6)$$

时,则  $R^p = R^*$  (7)

对于任意的  $[0, 1]$ ,有  $\lambda$ -截矩阵

$$R^* = (r_{ij}) \quad (8)$$

其中

$$(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & (\text{当 } r_{ij} \geq \lambda \text{ 时}) \\ 0 & (\text{当 } r_{ij} < \lambda \text{ 时}) \end{cases} \quad (9)$$

的具体取值,目前尚无统一规定,一般可根据研究对象的分类型要求确定。 $\lambda$ 越大,分类越细,分类数目越多,反之亦然。藉此,构造在  $\lambda$ 水平下的亲本分类矩阵  $R^*$ 。矩阵内数值相同的列所对应的亲本即为同一类型亲本。反之,则为另一类型亲本。

## 1.2 方法与步骤

### 1.2.1 搜集整理亲本各性状的观察数据。

1.2.2 据公式(1)和(2)计算亲本  $x_i$  与亲本  $x_j$  各性状的同一度。

1.2.3 据公式(3)和(4)构造亲本综合同一度矩阵  $R$ 。

1.2.4 据公式(5)~(7),求出模糊等价矩阵  $R^*$ 。

1.2.5 据公式(8)和(9),选取适当  $\lambda$ ,得到各亲本的  $\lambda$ -截矩阵,对亲本进行分类。

1.2.6 据分类结果,作出生物学意义上的解释。

## 2 应用实例分析

按照上述分析方法与步骤,对20个小麦亲本进行分类研究。为方便起见,用代号表示各亲本,分别为:(1)豫麦16;(2)偃89-60;(3)89中-18;(4)豫麦13;(5)周8425B;(6)鲁885265;(7)88凡8;(8)豫麦17;(9)烟1604;(10)郑831;(11)豫麦10号;(12)周8826;(13)豫麦2号;(14)漯0885235;(15)郑资7588;(16)无名矮秆;(17)安87-12;(18)安89-5;(19)安88-23;(20)豫麦18。考察性状包括株高等13个性状(表1)。

表1 20个小麦亲本13个性状观察值\*

Table 1 The observation values of 20 wheat parents for 13 characters

亲本代号 Code of parent	性状 Characters												
	株高 (A)	单株产量 (B)	单株穗数 (C)	穗粒数 (D)	千粒重 (E)	抗寒性 (F)	抽穗期 (G)	饱满度 (H)	主茎穗长 (I)	穗下茎长 (J)	白粉病 (K)	条锈病 (L)	叶枯病 (N)
1	68	18.7	16.7	39.2	30.1	0.33	197	0.33	10.8	30.0	0.33	0.53	0.33
2	67.3	28.3	24.3	40.2	48.3	0.33	199	0.5	7.3	23.3	0.33	0.25	0.33
3	69.0	27.7	14	55.1	45.7	0.5	199	0.33	8.6	27	0.4	0.33	0.33
4	77.2	23.9	19.4	41.6	38.1	0.5	198	0.33	10.0	30.5	0.33	0.33	0.33
5	65.0	28.2	13	44.9	49.9	0.5	199	0.33	11.2	18.4	0.5	1	0.5
6	71	22.4	11.0	65.7	31.0	0.5	199	0.29	13.7	24.5	1	1	0.5
7	71.3	19.9	8.0	52.6	42.1	0.5	199	0.4	8.0	23.7	1	1	0.5
8	76.8	23.9	15.7	42.9	30.1	0.33	197	0.33	11.9	31.8	0.5	0.5	0.33
9	69.3	25.8	14.3	45.7	40.3	1	202	0.5	9.6	25.0	0.33	1	0.33
10	60.3	21.6	19.3	35.8	55.4	0.33	199	0.5	9.0	22.1	1	0.33	0.33
11	78.1	16.4	12.3	46.9	28.4	0.33	202	0.33	9.1	28.7	0.33	0.25	0.33
12	58.5	12.6	16.0	26.3	30.0	1	199	0.5	12.0	18.8	0.33	0.33	0.33
13	77.0	23.0	20	51.5	32.0	0.5	199	0.5	8.4	28.0	0.4	0.25	0.25
14	79.3	15.4	15.3	52.4	16.3	0.5	199	0.25	15.1	24.7	0.33	0.25	0.33
15	73.7	30.4	25	40.1	40.3	1	200	0.33	8.3	23.1	1	1	1
16	64.3	29.2	14.3	78.7	21.7	0.5	199	0.25	15.1	22.5	0.5	1	0.5
17	61	27.5	12.0	46.0	26.3	0.5	200	0.29	9.6	29.8	0.33	0.25	0.25
18	74.3	18.1	11.3	45.2	44.4	0.33	195	0.33	9.7	33.4	0.33	0.33	0.33
19	75.1	22.7	16.4	31.1	36.4	0.33	196	0.33	9.9	33.1	0.33	0.33	0.33
20	72.5	20.3	18.5	41.2	48.1	0.33	199	0.33	8.8	29.3	0.33	0.33	0.33

Notes :A = Plant height ;B = Single-plant yield ;C = Ears per plant ;D = Grains per plant ;E = 1 000-grain weight ;F = Resistance to coldness ;G = Heading stage ;H = Plumprness ;I = Ear length of main culm ;J = Culm length below ear ;K = Powdery mildew ;L = Rust ;N = Leaf blight.

### 2.1 20个亲本的同一度矩阵 $R$

矩阵  $R$  中各数据表示的是各个亲本之间13个性状的综合同一度。同一度越大,表明两亲本彼此之间的差异程度越小,两者越接近同一类型。如第

18个亲本(安89-5)与第20个亲本(豫麦18)之间的综合同一度为0.929,在所有亲本之间最大,说明这两个亲本最接近同一类型。反之亦然。

R =	1	0.809	0.820	0.880	0.763	0.744	0.720	0.921	0.799	0.788	0.885	0.792	0.793	0.793	0.690	0.722	0.820	0.886	0.906	0.903
	1	0.832	0.834	0.746	0.647	0.708	0.776	0.803	0.851	0.819	0.750	0.838	0.747	0.724	0.666	0.794	0.821	0.827	0.879	
		1	0.895	0.833	0.761	0.781	0.819	0.826	0.796	0.842	0.747	0.860	0.806	0.723	0.768	0.859	0.872	0.854	0.886	
			1	0.784	0.738	0.737	0.872	0.821	0.808	0.861	0.780	0.872	0.816	0.730	0.715	0.861	0.885	0.917	0.934	
				1	0.831	0.827	0.801	0.817	0.732	0.735	0.698	0.726	0.709	0.774	0.861	0.777	0.767	0.740	0.763	
					1	0.879	0.770	0.755	0.714	0.727	0.653	0.724	0.741	0.765	0.859	0.749	0.723	0.710	0.699	
						1	0.720	0.784	0.761	0.721	0.634	0.745	0.687	0.802	0.764	0.706	0.747	0.699	0.737	
							1	0.780	0.780	0.855	0.751	0.806	0.775	0.702	0.761	0.802	0.858	0.888	0.862	
								1	0.750	0.779	0.801	0.790	0.734	0.795	0.752	0.816	0.796	0.790	0.795	
									1	0.764	0.763	0.789	0.691	0.727	0.653	0.724	0.799	0.822	0.861	
										1	0.765	0.838	0.851	0.653	0.694	0.881	0.915	0.876	0.889	
											1	0.751	0.759	0.646	0.659	0.741	0.753	0.796	0.763	
												1	0.815	0.689	0.699	0.858	0.789	0.816	0.805	
													1	0.598	0.782	0.819	0.777	0.782	0.787	
														1	0.710	0.660	0.667	0.685	0.712	
															1	0.754	0.669	0.683	0.673	
																1	0.839	0.821	0.817	
																	1	0.919	0.929	
																		1	0.924	
																			1	

2.2 20 个亲本的模糊等价矩阵 R\*

R =	1	0.879	0.895	0.906	0.833	0.833	0.833	0.921	0.826	0.861	0.906	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.881	0.906	0.906	0.906
	1	0.879	0.879	0.833	0.833	0.833	0.879	0.826	0.861	0.879	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879
		1	0.895	0.833	0.833	0.833	0.895	0.826	0.861	0.895	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.881	0.895	0.895	0.895	0.895
			1	0.833	0.833	0.906	0.826	0.861	0.915	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.881	0.929	0.924	0.934	0.934	0.934
				1	0.859	0.859	0.833	0.826	0.833	0.833	0.801	0.833	0.833	0.802	0.861	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833
					1	0.879	0.833	0.826	0.833	0.833	0.801	0.833	0.833	0.802	0.859	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833
						1	0.833	0.826	0.833	0.833	0.801	0.833	0.833	0.802	0.859	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833
							1	0.826	0.861	0.906	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.881	0.906	0.906	0.906	0.906
								1	0.826	0.826	0.801	0.826	0.826	0.802	0.826	0.826	0.826	0.826	0.826	0.826
									1	0.861	0.801	0.861	0.851	0.802	0.833	0.861	0.861	0.861	0.861	0.861
										1	0.801	0.872	0.851	0.802	0.833	0.881	0.915	0.915	0.915	0.915
											1	0.801	0.801	0.801	0.801	0.801	0.801	0.801	0.801	0.801
												1	0.851	0.802	0.833	0.872	0.872	0.872	0.872	0.872
													1	0.802	0.833	0.851	0.851	0.851	0.851	0.851
														1	0.802	0.802	0.802	0.802	0.802	0.802
															1	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833
																1	0.881	0.881	0.881	0.881
																	1	0.924	0.924	0.924
																		1	0.924	0.924
																			1	

同一度矩阵 R 并不满足传递性。因此根据公式(5)~(7),求其传递闭包。运算结果表明, R<sup>16</sup> = R<sup>8</sup>,则 R<sup>8</sup>即为模糊等价矩阵 R\*。

2.3 20 个亲本分类结果

由 R\* 作出动态聚类图(略),得出 取不同值

时的不同分类结果。据此,依据育种专业知识,选取适当的,本文取 = 0.872,据公式(8)~(10)进行运算,求出 -截矩阵,可得 20 个亲本分类矩阵 R<sub>0.872</sub>\*。

R <sub>0.872</sub> * =	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1

矩阵中数值相同的列所对应的亲本即为同一类型亲本。由此可将 20 个亲本分为 9 个类型。 : {1, 2, 3, 4, 8, 11, 13, 17, 18, 19, 20} = {豫麦 16, 偃 89-60, 89 中 108, 豫麦 13, 豫麦 17, 豫麦 10 号, 豫麦 2 号, 安 87-12, 安 89-5, 安 88-23, 豫麦 18}, 大多为生产上大面积推广的品种或产量表现较优的新品系, 属于丰产型亲本; : {5} = {周 8425B}, 只有一个亲本, 属矮秆抗病型亲本; : {6, 7} = {鲁 885265, 88 凡 8}, 属大穗多粒型亲本; : {9} = {烟 1604}, 属矮秆多穗型亲本; : {10} = {郑 831}, 属矮秆大粒型亲本; : {12} = {周 8826}, 属矮秆多穗抗寒型亲本; : {14} = {漯 0885235}, 属中秆大穗多粒型亲本; : {15} = {郑 资 7588}, 属抗病多穗型亲本; : {16} = {无名矮秆}, 属矮秆多粒抗病型亲本。

#### 2.4 近年来已培育成功的小麦新品种印证

亲本分类的目的在于为杂交组合配制提供科学

依据。一般说来, 不同类型的亲本之间其遗传差异较大, 在它们之间进行杂交, 其后代分离类型相对较多, 出现理想类型的机会也较大。因此, 在利用亲本分类结果指导杂交组合配制时, 所遵循的基本原则应该是, 在考虑育种目标和亲本性状互补等因素的基础上, 尽可能在不同类型的材料之间寻找亲本。当然, 对于同一类型亲本由自然变异所施加的影响又另当别论(因为即使是同一品种, 产生自然变异后, 通过系统选择, 也可培育出新的优良品种)。

按照这样的原则推论, 上述 20 个亲本 9 个类型中, 不同类型间的亲本进行杂交, 经过有目的的定向选择, 便很有可能筛选出比较理想的优良品种来。近年来, 我国黄淮流域南片小麦育种实践部分地印证了上述推论(表 2)。

表 2 黄淮南片已培育成功的小麦新品种印证结果

Table 2 The confirmed results of wheat new varieties improved successfully in Southern Huanghuai Valley

品种名称 Cultivar	审定部门 Approval department	组合 Combination	有关亲本所属类型 Type of related parents	同一度 Identical degree
豫麦 50 Yumai 50	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	太谷核不育系选(包括豫麦 2 号、豫麦 16 和郑州 831 等等) <sup>4</sup>	,	0.788, 0.789
豫麦 51 Yumai 51	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	周 8425B/ 豫麦 17 <sup>5</sup>	,	0.801
豫麦 56 Yumai 56	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	豫麦 13/ 周 8826 冀 5418 <sup>6</sup>	,	0.780
豫麦 60 Yumai 60	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	(豫麦 10 号/ 豫麦 13) F <sub>1</sub> 花培育成 <sup>7</sup>	,	0.808
豫麦 61 Yumai 61	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	豫麦 10/ 豫麦 13 <sup>8</sup>	,	0.808
安麦 1 号 Anmai 1	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	豫麦 13/ 周 8826 <sup>9</sup>	,	0.780
周麦 13 Zhoumai 13	河南省农作物品种审定委员会 <sup>1</sup>	周 8425B/ 豫麦 21(百农 791/ 豫麦 2 号 鲁麦 1 号/ 偃师 4 号) <sup>10</sup>	,	0.726
淮麦 14 Huaimai 14	全国农作物品种审定委员会 <sup>2</sup>	豫麦 13/ 烟 1604 <sup>11</sup>	,	0.821
淮麦 18 Huaimai 18	江苏省、河南省农作物品种审定委员会	豫麦 13/ 烟 1604 <sup>11</sup>	,	0.821
淮麦 20 Huaimai 20	江苏省农作物品种审定委员会 <sup>3</sup>	豫麦 13/ 烟 1604 <sup>11</sup>	,	0.821

Notes: 1—Agricultural Crops Variety Approval Council in Henan Province; 2—Agricultural Crops Variety Approval Council in China; 3—Agricultural Crops Variety Approval Council in Jiangsu Province; 4—Pedigree selection of Taigu genic sterility system(the parents include Yumai No. 2, Yumai No. 16, Zhengzhou 831 and so on); 5—Zhou 8826/ Yumai No. 17; 6—Yumai 13/ Zhou 8826 Ji 5418; 7—Cultured by Pollen of (Yumai No. 10/ Yumai No. 13) F<sub>1</sub>; 8—Yumai No. 10/ Yumai No. 13; 9—Yumai No. 13/ Zhou 8826; 10—Zhou 8425B/ Yumai No. 21 (Bainong 791/ Yumai No. 2 Lumai No. 1/ Yangshi No. 4); 11—Yumai 13/ Yan 1604.

表 2 中所列 10 个小麦新品种培育成功的事实说明, 不同类型的亲本进行杂交, 对于选育优良品种具有不可低估的重要作用。同时可以看出, 上述品种涉及到的亲本之间同一度均较小(在 0.788 ~ 0.821 之间), 换言之, 它们的差异度均较大。也正是这种差异, 使它们能够产生优于双亲的理想类型而成为优良品种。由此可见, 基于同一度的亲本分类方法用于指导作物育种是切实可行的。

### 3 讨论

#### 3.1 亲本分类方法的研究, 对于改变传统的经验分

类格局具有重要意义。有助于进一步克服杂交组合配制的盲目性, 提高杂交组合出品种的贡献率。

3.2 用同一度概念表述亲本之间的关系, 既简单明了, 又具有一定程度的合理性, 能够比较真实地反映彼此之间的差异, 从而指导杂交组合的配制。

3.3 基于同一度的亲本分类方法, 比模糊聚类分析方法运算更简便, 因此其应用前景十分广阔。

3.4 亲本分类过程中, 阈值的确定十分关键。但目前尚无规范标准, 有待进一步研究。因此, 在应用过程中, 应当在动态聚类图中通过对多个的取值比较, 并结合育种专业知识确定之。

## References

- [1] Guo R-L(郭瑞林), Song C-J(宋长江). Study on genetic distance and its cluster of the quantitative characters among winter wheat parents. *Acta Agri Boreali-Sin*(华北农学报), 1991, 6(3): 1 - 6
- [2] Fang K-T(方开泰). Practical Multivariate Statistic Analysis(实用多元统计分析). Wuhan: Huazhong Industrial College Press, 1987. 129 - 164(in Chinese)
- [3] Lin S-G(林少宫), Yuan P-J(袁蒲佳), Shen D-X(申鼎焯). Multivariate Statistic Analysis and Its Calculation Programs(多元统计分析及计算程序). Tianjin: Sci Tec Press, 1993. 129 - 164(in Chinese)
- [4] Guo R-L(郭瑞林). Agricultural Fuzzy Science(农业模糊学). Zhengzhou: Henan Sci Tec Press, 1991. 91 - 125(in Chinese)
- [5] Guo R-L(郭瑞林). Application study on fuzzy cluster analysis of wheat parent classification. *Henan Agri Sci*(河南农业科学), 1991, (7): 1 - 3
- [6] Li H-X(李洪兴), Wang Q(汪群), Duan Q-Z(段钦治). Engineering Fuzzy Mathematical Methods and Its Applications(工程模糊数学方法及应用). Tianjin: Sci Tec Press, 1993. 303 - 352(in Chinese)
- [7] Editorial Committee for Hand Book of Modern Mathematics in Science and Engineering. Hand Book of Modern Mathematics in Science and Engineering ( ) [现代工程数学手册( )]. Wuhan: Huazhong Industrial College Press, 1988. 999 - 1 006(in Chinese)
- [8] Guo R-L(郭瑞林). Crop Grey Breeding Science(作物灰色育种学). Beijing: Chi Agri Sci Press, 1995. 109 - 122(in Chinese)
- [9] Zhao K-Q(赵克勤). Set Pair Analysis and Its Preliminary Applications(集对分析及其初步应用). Hangzhou: Sci Tec Press, 2000. 9 - 43(in Chinese)
- [10] Zhang Q-H(张清海), Wang Z-H(王志和), Zhang G-L(张桂兰). The Wheat Varieties approved and Popularized and Its Selection in Southern Huanghuai Valley(黄淮南片小麦审定推广品种及其选育). Beijing: Chi Agri Sci Press, 2000(in Chinese)