

普通小麦辐射敏感性的多样性 模糊聚类分析

冯志杰*

(中国农业科学院原子能利用研究所, 北京 100094)

摘 要 研究采用 49 个普通小麦品种组成的样本群体, 对小麦 (*Triticum aestivum* L.) 辐射敏感性进行了模糊聚类分析。结果表明, 小麦辐射敏感性呈连续性变异, 表现为丰富的多样性。当 λ 步长足够小时, 几乎找不到任何两个辐射敏感性相同的品种。随着 λ 步长的增大, 辐射敏感性相近的品种便聚成一类。 λ 步长为 0.02 时, 供试样本群体被分成 24 组。考虑到辐射诱变育种的实践, 通过增大 λ 步长到 0.18 样本群体辐射敏感性被分为 5 类, 分别称之为极迟钝型、迟钝型、中间型、敏感型和极敏感型。

关键词 小麦 辐射敏感性 多样性 模糊聚类分析

生物多样性表现在不同层次水平上^[1 2], 植物辐射敏感性属遗传多样性范畴。同时植物的辐射敏感性也是一种模糊现象。这为其模糊聚类分析提供了可能。模糊聚类分析是以模糊数学中的模糊集合论为基础的一种数量分析方法, 目前已被广泛应用于气象、地质、环境、林业、生态等许多科学领域^[2 5]。本文将模糊聚类分析用于放射生物学及诱变育种, 对普通小麦辐射敏感性进行了模糊聚类, 探讨了小麦辐射敏感性的多样性。

1 实验设计与数据

1.1 幼苗培养

采用⁶⁰γ射线 (0~ 450Gy)辐照含水量为 13% 的小麦休眠种子。种子由中国农业科学院作物品种资源研究所提供并套袋自交一代以保证其纯度。每处理 30 粒, 未照射的作对照。照射的种子在人工气候箱进行培养, 12h 光照 (5000lx), 温度为 25℃; 12h 黑暗, 温度为 18℃, 3 次重复。测定 10 日龄幼苗高度作为苗期辐射敏感性指标。

1.2 田间试验

种子辐照方法和条件同上。每处理用 100 粒种子, 未处理的作对照, 随机区组设计, 3 次重

1996-03-05 收稿。
* 现通信地址: 中国农业科技出版社, 北京 100081

复。测定每一处理的种子存活率和籽粒产量作为成株辐射敏感性指标
幼苗高度、存活率和籽粒产量三个指标的数据换算成占对照的百分数, 列于表 1

表 1 ⁶⁰Co射线辐照小麦种子后的 幼苗高度 (x_{i1}) 籽粒产量 (x_{i2})和存活率 (x_{i3})的观测值

品种*	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	品种*	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}
x_1	73 34	66 38	73 45	x_{26}	75 10	53 16	68 83
x_2	70 82	61 29	76 88	x_{27}	71 83	41 25	53 02
x_3	81 61	65 28	68 27	x_{28}	76 64	72 40	82 63
x_4	72 93	55 63	65 47	x_{29}	80 23	70 07	78 64
x_5	69 52	69 65	78 40	x_{30}	78 56	77 72	84 68
x_6	74 99	56 51	70 88	x_{31}	75 32	64 05	70 42
x_7	74 90	66 95	74 74	x_{32}	69 39	68 72	73 36
x_8	71 85	57 01	64 81	x_{33}	74 61	52 71	65 90
x_9	73 57	64 85	65 54	x_{34}	86 28	64 76	71 19
x_{10}	78 98	55 87	64 44	x_{35}	74 38	57 03	64 47
x_{11}	70 45	61 52	69 59	x_{36}	75 69	49 07	56 43
x_{12}	82 39	60 80	70 42	x_{37}	68 23	54 45	70 39
x_{13}	74 22	56 38	63 88	x_{38}	77 61	57 61	69 38
x_{14}	72 39	52 95	68 03	x_{39}	72 16	72 00	77 60
x_{15}	73 04	61 57	68 02	x_{40}	73 32	53 08	58 57
x_{16}	82 07	48 44	62 98	x_{41}	78 93	63 59	65 35
x_{17}	73 98	71 71	85 33	x_{42}	73 45	62 87	68 14
x_{18}	70 44	68 37	78 91	x_{43}	77 08	84 87	86 37
x_{19}	74 54	58 21	70 47	x_{44}	68 59	66 55	73 25
x_{20}	80 64	47 09	61 24	x_{45}	82 25	75 49	81 27
x_{21}	78 93	63 89	75 24	x_{46}	80 67	72 35	87 37
x_{22}	77 62	67 32	82 72	x_{47}	71 94	71 65	79 79
x_{23}	76 77	53 65	65 47	x_{48}	66 97	68 93	67 94
x_{24}	73 63	59 64	81 88	x_{49}	73 32	74 99	74 11
x_{25}	83 33	63 88	70 74				

* 品种名称参见表 3

2 模糊集合的确立与模糊聚类分析

2 1 确立模糊集合

小麦种子被 γ 射线辐照后, 其植株表现出各种辐射损伤, 如幼苗和成株高度降低, 存活率下降, 产量减少 (育性降低) 等等。在相同剂量条件下, 不同品种的辐射损伤存在显著差异, 即不同品种具有不同的辐射敏感性。换句话说, 普通小麦的辐射敏感性具有多样性。辐射损伤愈大, 表明该品种对射线愈敏感, 反之则愈迟钝。因此辐照后某一品种 (x_i) 的幼苗高度 (x_{i1}), 籽粒产量 (x_{i2}), \cdots , 存活率 (x_{ij}), \cdots , 植株高度 (x_{im}) 等 m 个辐射敏感性指标则构成该品种的 n 维辐射敏感性表征向量

$$x = (x_{i1}, x_{i2}, \cdots x_{ij} \cdots x_{im})$$

(1)

对于 n 个品种则有向量组

表 2 幼苗高度 (x'_{i1}), 籽粒产量 (x'_{i2}), 存活率 (x_B) 的标准化数值

品种	x'_{i1}	x'_{i2}	x'_{i3}	品种	x'_{i1}	x'_{i2}	x'_{i3}
x_1	0.330	0.576	0.595	x_{26}	0.421	0.273	0.476
x_2	0.199	0.459	0.695	x_{27}	0.252	0.000	0.000
x_3	0.758	0.551	0.444	x_{28}	0.501	0.714	0.862
x_4	0.309	0.330	0.362	x_{29}	0.687	0.661	0.746
x_5	0.132	0.651	0.739	x_{30}	0.600	0.836	0.922
x_6	0.415	0.350	0.520	x_{31}	0.432	0.523	0.507
x_7	0.411	0.589	0.632	x_{32}	0.125	0.630	0.592
x_8	0.253	0.361	0.343	x_{33}	0.396	0.263	0.375
x_9	0.342	0.541	0.364	x_{34}	1.000	0.539	0.529
x_{10}	0.622	0.335	0.332	x_{35}	0.384	0.362	0.333
x_{11}	0.180	0.465	0.482	x_{36}	0.452	0.179	0.361
x_{12}	0.799	0.448	0.507	x_{37}	0.065	0.303	0.506
x_{13}	0.375	0.347	0.316	x_{38}	0.551	0.375	0.476
x_{14}	0.281	0.268	0.437	x_{39}	0.292	0.705	0.716
x_{15}	0.314	0.466	0.437	x_{40}	0.329	0.271	0.162
x_{16}	0.782	0.165	0.290	x_{41}	0.619	0.512	0.359
x_{17}	0.363	0.698	0.941	x_{42}	0.336	0.496	0.440
x_{18}	0.180	0.622	0.754	x_{43}	0.524	1.000	0.971
x_{19}	0.392	0.389	0.508	x_{44}	0.084	0.580	0.589
x_{20}	0.708	0.134	0.239	x_{45}	0.791	0.785	0.822
x_{21}	0.619	0.519	0.647	x_{46}	0.709	0.713	1.000
x_{22}	0.552	0.598	0.865	x_{47}	0.257	0.697	0.779
x_{23}	0.508	0.284	0.362	x_{48}	0.000	0.635	0.434
x_{24}	0.354	0.422	0.840	x_{49}	0.329	0.773	0.614
x_{25}	0.847	0.519	0.156				

计算模糊相似矩阵

$$\underline{R} = (r_{ij})_{n \times n} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$
 (7)

中的各元素 r_{ij} 公式 (6)和 (7)中, n 为被分类对象 (品种数); m 为分类所采用的因子数; x'_{ik} 为第 i 个分类对象的第 k 个因子的数值; x'_{jk} 为第 j 个分类对象的第 k 个因子的数值; M 为一适当选取的正数, 它满足

$$M \geq \max_j \left(\sum_{k=1}^m x'_{ik} x'_{jk} \right)$$
 (8)

在本文, $n=49, m=3, M=2.2$ 根据表 2 的数据公式 (6), 计算得到表征普通小麦品种之间辐射敏感性亲疏关系的模糊相似关系 \underline{R} , \underline{R} 为一 49 阶方阵 (为了节省篇幅, 本文予以省略), 简记为

$$\underline{R} = (r_{ij})_{49 \times 49}$$
 (9)

2.2.2 模糊等价关系的合成

本研究采用模糊等价关系 (或模糊等价矩阵) 进行聚阵。模糊等价关系满足

- i 自反性: $r_{ij} = 1 (i = 1, 2, \dots, n)$
- ii 对称性: $r_{ij} = r_{ji} (i, j = 1, 2, \dots, n)$
- iii 传递性: $\underline{R} \circ \underline{R} \subseteq \underline{R}$

由于得到的模糊相似矩阵 (9) 只满足自反性和对称性, 而不满足传递性, 因此, 需对 (9) 进行改造。

按取大、取小法则

$$r_{ij}^{(2q)} = \bigvee_{j=1}^n [r_{ij}^{(q)} \wedge r_{ij}^{(q)}]$$

合成 $\underline{R}^2, \underline{R}^4, \underline{R}^8, \dots, \underline{R}^{(2^q)}$; 当 $\underline{R}^{2^{(q-1)}} = \underline{R}^{2^q} = \underline{R}^*$ 时, \underline{R}^* 即为所求的模糊等价关系。式 (10) 中的 $r_{ij}^{(2^q)}$ 为等 q 次合成的新矩阵 $\underline{R}^{(2^q)}$ 中的各元素。

在本研究中, 对模糊相似关系 (9) 改造得到的模糊等价关系为 \underline{R}^8 , \underline{R}^8 亦为一 49 阶方阵。为节省篇幅, 本文予以省略, 简记为

$$\underline{R}^* = \underline{R}^8 \quad (11)$$

2.2.3 聚类分析

选取一定的 λ 步长, 不同的 λ 水平便将模糊等价矩阵 (即等价关系) 截得一系列布尔矩阵, 即 λ 截矩阵 (本文予以省略)。当 λ 步长为 0.02 时, 供试的样本群体依辐射敏感性强弱被分成 24 组, 并由此得到普通小麦品种辐射敏感性的动态聚类图 (因样本过大, 绘图不便, 故予以省略)。 λ 步长增至 0.10 时, 被分为 9 组。这时, 通过配制正态曲线表明, 小麦辐射敏感性呈连续变异, 并符合正态分布。研究结果表明, 小麦辐射敏感性在品种间存在显著差异, 反映了小麦辐射敏感性的多样性。事实上, 当 λ 水平的步长足够小时, 几乎找不到任何两个辐射敏感性相同的品种。

随着 λ 水平的步长增大, 被分成的类型则减少, 而每一类所包含的品种类型则增多。考虑到聚类结果在辐射诱变育种实践上的应用, 将 λ 水平的步长增大至 0.18 供试样本群体被分成以下 5 类:

- I $0.82 < \lambda \leq 1.00 \{x_{30}, x_{43}, x_{45}, x_{46}\}$
- II $0.64 < \lambda \leq 0.82 \{x_5, x_{17}, x_{18}, x_{21}, x_{22}, x_{25}, x_{28}, x_{29}, x_{34}, x_{39}, x_{47}, x_{49}\}$
- III $0.46 < \lambda \leq 0.64 \{x_1, x_2, x_3, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{15}, x_{16}, x_{19}, x_{24}, x_{31}, x_{32}, x_{38}, x_{41}, x_{42}, x_{44}, x_{48}\}$
- IV $0.28 < \lambda \leq 0.46 \{x_4, x_8, x_{13}, x_{14}, x_{20}, x_{23}, x_{26}, x_{33}, x_{35}, x_{36}, x_{37}\}$
- V $0.10 < \lambda \leq 0.28 \{x_{27}, x_{40}\}$

从 I 到 V, 辐射敏感性依次增强, 分别称之为极迟钝型、迟钝型、中间型、敏感型和极敏感型, 各类型所包括的品种如表 3 所示。

3 讨论

在模糊聚类过程中, 用来聚类的模糊等价关系 \underline{R}^* 中的诸元素 r_{ij} , 是由各辐射敏感性指标

产生辐射效应后的剩余值得到的, 它反映了某一品种辐射敏感性的强弱; r_{ij} 愈小, 则辐射敏感性愈强; 同时, r_{ij} 之间的差距大小反映了品种之间辐射敏感性的相似程度。聚类结果便将辐射敏感性相近的品种归为一类。随着 λ 水平的升高, 被分到该 λ 水平范围内的品种的辐射敏感性愈弱, 即愈耐辐射。反之则愈敏感, 即辐射敏感性强。

模糊聚类分析是根据模糊集合论原理建立的分类方法。本文将这一方法应用于植物辐射敏感性的多样性分析, 所得到的小麦辐射敏感性的动态聚类结果, 充分反映了小麦辐射敏感性的多样性特征。

表 3 λ 水平为 0.18时普通小麦辐射敏感性的类型

类 型		品		种		
极迟钝型	小偃 5号	(x_{45})	鲁滕 1号	(x_{46})	1885	(x_{30})
	晋麦 2号	(x_{43})				
迟 钝 型	石特 14	(x_{17})	唐麦 1号	(x_5)	北京 15号	(x_{18})
	出山豹	(x_{25})	向阳 1号	(x_{49})	津丰 1号	(x_{39})
	三月黄	(x_{47})	原冬 3号	(x_{34})	农大 311	(x_{21})
	山农辐 63	(x_{22})	济南 13号	(x_{29})	白芒麦	(x_{28})
中 间 型	太辐 10号	(x_{10})	蚰包麦	(x_{16})	丰抗 15号	(x_{10})
	1817	(x_{48})	沧州 1号	(x_{15})	小红芒	(x_{42})
	北京 8号	(x_{19})	泰山 1号	(x_9)	丰抗 7号	(x_6)
	农大 198	(x_{38})	农大 139	(x_{44})	12040	(x_{41})
	12057	(x_{31})	丰抗 2号	(x_2)	东方红 3号	(x_{32})
	科遗 26	(x_1)	泰山 4号	(x_3)	泰山 5号	(x_{24})
	蚂蚱麦	(x_7)	北京 10号	(x_{12})		
敏 感 型	有芒白 4号	(x_{36})	大白芒	(x_{37})	京双 2号	(x_{33})
	碱麦	(x_{14})	九三红	(x_8)	石家庄 54	(x_4)
	北京 11号	(x_{13})	红良 4号	(x_{35})	小偃 4号	(x_{20})
	丰产 3号	(x_{23})	科冬 58	(x_{26})		
极敏感型	晋麦 7号	(x_{27})	丰抗 4号	(x_{40})		

由于模糊聚类过程中综合了多个辐射敏感性指标的信息, 因而较前人采用的单一辐射敏感性指标分类方法^[6, 7]更为可靠

参 考 文 献

1 马克平. 试论生物多样性的概念. 生物多样性, 1993(1): 20~ 22

2 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 54~ 76 203~ 335

3 Holden J Peacock J W illiam s TG. Crops and the Environment Cambridge Cambridge University Press 1993. 60~ 80

4 Zadeh LA. Fuzzy sets and their application to pattern classification and clustering analysis. In J van Ryzin (ed). Classification and Clustering Analysis New York Acad Press. 1977

- 5 Dider Dubois, Henri Parade. Fuzzy Sy sets and System s New York Acad Press 1980 68- 94 317- 334
- 6 Inoue M, Ito R, Tabata T, Hesegawa H. Varietal differences in the repair of gamma-a-radiation-induced lesions in barley. Environ Expt Bot 1980 20 161-168
- 7 Ukai Y, Yamashita A. Varietal differences in gamma-ray-induced chromosome aberrations in soybean Japan J Genet 1980 55 225- 234

Fuzzy Clustering Analysis for the Diversity of Radiosensitivity of *Triticum aestivum* L

Feng Zhijie

(Institute for Application of Atomic Energy, C.A.S., Beijing 100094)

Abstract By means of fuzzy clustering method, the diversity of radiosensitivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) was analyzed with a sample population of 49 varieties. The result showed that the radiosensitivity of *T. aestivum* L. manifests significant difference among varieties. If the selected step of λ -level is enough short, the radiosensitivity of all varieties within the sample population is different from one to another, which reflects the diversity of the radiosensitivity of *T. aestivum* L. Considering the application of radiosensitivity of wheat varieties in the practice of radiation induction breeding, the author has, according to their responses to radiation, classified the varieties into five groups that are named as higher resistant, resistant, intermediate, sensitive and higher sensitive, respectively.

Key words Fuzzy clustering; Diversity; Radiosensitivity; *Triticum aestivum* L.