

# 单株同异选择原理与方法及其在小麦育种中的应用\*

郭瑞林<sup>1</sup>, 关立<sup>2</sup>

(1. 安阳工学院生物与食品工程学院,河南安阳 455000; 2. 安阳市农业科学研究所,河南安阳 455000)

**摘要:** 为克服传统经验育种的局限性,运用同异分析原理提出了一种新的单株选择方法即单株同异选择法,介绍了这种选择方法的原理与步骤。利用小麦新品种豫麦 35、安麦 1 号、安麦 7 号的育种资料,对它们的单株选择过程进行了单株同异选择分析,从育种实践的角度证明了这种方法的可行性。在此基础上,讨论了这种选择方法的优越性,指出这种方法与分子标记辅助选择技术相结合将是一个十分有意义的研究方向。

**关键词:** 小麦; 单株; 同异选择

中图分类号: S512.1; S333

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2007)03-0411-05

## Principle and Method of Single-plant Similarity-difference Selection and Its Application in Wheat Breeding

GUO Rui-lin<sup>1</sup>, GUAN Li<sup>2</sup>

(1. Biological and Food Engineering Faculty, Anyang Engineering College, Anyang, Henan 455000, China;

2. Anyang Institute of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China)

**Abstract:** In order to overcome the limitation of traditional breeding by means of experiences, a new method of single-plant selection was proposed based on the principle of similarity-difference analysis, which was considered as the method of single-plant similarity-difference selection. Its principle and steps were introduced. By means of the breeding data of Yumai 35, Anmai 1 and Anmai 7, the analysis of single-plant similarity-difference selection was made in the process of single-plant selection. The results showed that this method was feasible and efficient in the practice of breeding. Based on this, the superiorities of the method were discussed. It is pointed that combining this method with the technique of molecule marker assisted selection will be a very meaningful study direction.

**Key words:** Wheat; Single-plant; Similarity-difference selection

单株选择是作物育种过程中的一个关键环节。杂交后代分离群体中有益基因型的保留、不良基因型的淘汰以及优良基因型的纯合均是通过单株选择而实现的。为了提高单株选择效果,早在 1936 年 Smith 就在 Fisher 的判别函数概念的基础上提出了选择指数法<sup>[1]</sup>,之后 Kempthorne、Nordskog 以及 Tallis 提出了限制性选择指数法<sup>[2,3]</sup>,1978 年 Lin 对 Smith 提出的选择指数法又作了进一步改进,使之更趋完善<sup>[4]</sup>。然而,由于这些方法都需要特殊的试验设计,而且要求试验

有多个重复,在具体育种过程中较难满足,其应用便受到一定限制。王福亭、郭瑞林 1991 年提出了改进列联表法<sup>[5]</sup>,这种方法计算简便,便于应用,但在建立列联表的过程中,仍需要积累多年育种资料和数据,这对于开展育种工作历史较短的单位来说,便难以应用。单株灰色选择原理与方法的应用<sup>[6-9]</sup>,使单株选择在定量化方面取得了较大进展。本研究在此基础上运用同异分析原理<sup>[10-12]</sup>,提出了一种新的单株选择方法,以期为育种工作提供一种有效的工具和手段。

\* 收稿日期:2006-08-20

修回日期:2006-11-15

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(1960-),男,研究员,主要从事高产、优质、多抗小麦新品种选育以及作物灰色育种学的建构及应用研究。

# 1 单株同异选择的原理与方法

## 1.1 单株同异选择的原理

在单株选择背景下(设为  $W$ ),给定 2 个集合  $A$  和  $B$ 。其中,  $A$  代表某单株,  $B$  代表理想单株。由此构成集对  $H = (A, B)$ 。定义  $A$ 、 $B$  两个集合的联系度为:

$$\mu(W) = a + bi \tag{1}$$

式中,  $i$  是一个不确定量,在区间  $[-1, 1]$  之间视具体情况不确定取值;  $a$  表示某单株  $A$  与理想单株  $B$  的相同程度,即同一度,  $b$  表示它们之间的差异度。 $a$ 、 $b$  满足归一化条件,即:

$$a + b = 1 \tag{2}$$

$a$ 、 $b$  两者的大小差别反映了两个集合在单株选择背景下的同异联系趋势。一般地,  $a$  越大,表明某单株  $A$  接近理想单株  $B$  的程度越高,表现越好,反之亦然。

由此引出如下定义:

定义 1:在联系度  $\mu(W) = a + bi$  中,当  $b = 0$  时,同一度  $a$  与差异度  $b$  的比值  $a/b$  为所论集对  $H$  中同异关系下的联系势,记为

$$S(H) = a/b, \text{当 } b \neq 0 \text{ 时} \tag{3}$$

定义 2:在联系度  $\mu(W) = a + bi$  中,若  $a/b = 1$ ,即  $a = b = 0.5$  时,称这时的联系势为所论集对  $H$  中同异关系下的联系均势,记为

$$S(H)_M = a/b = 1 \quad (a = b = 0.5) \tag{4}$$

集对的均势意味着集对中 2 个集合相同的趋势和差异的趋势呈现"势均力敌"的状态。某单株  $A$  接近理想单株  $B$  的程度占  $1/2$ 。

定义 3:在联系度  $\mu(W) = a + bi$  中,若  $a/b > 1$ ,则称这时的联系势为所论集对  $H$  中同异关系下的联系同势,记为

$$S(H)_I = a/b, \quad a/b > 1 \tag{5}$$

联系同势表明 2 个集合相同的趋势占优势。

定义 4:在联系度  $\mu(W) = a + bi$  中,若  $a/b < 1$ ,则称这时的联系势为所论集对  $H$  中同异关系下的联系异势,记为

$$S(H)_D = a/b, \quad a/b < 1 \tag{6}$$

联系异势表明两个集合相异的趋势占优势。

按照黄金分割原理,可以将联系同势进一步划分为准同势、强同势、弱同势、微同势 4 级,将联系异势进一步划分为微异势、弱异势、强异势和准异势 4 级(表 1)。

表 1 同异关系下的联系势与单株等级

Table 1 Trend and single-plant grades under the identical-difference relationship

势级 Trend	联系势 Connection trend	$a, b$ 及其关系 $a, b$ and their relation	单株等级 Single-plant grade
同势 Identical trend	准同势 Quasi identical trend	$a = 1$ or $b = 0$	一级单株 The first grade
	强同势 Strong identical trend	$a > b, 0.809 < a < 1$	
	弱同势 Weak identical trend	$a > b, 0.691 < a < 0.809$	
	微同势 Mini-identical trend	$a > b, 0.5 < a < 0.691$	
均势 Mean trend	均势 Mean trend	$a = b = 0.5$	二级单株 The second grade
异势 Different trend	微异势 Mini-different trend	$a < b, 0.309 < a < 0.5$	三级单株 The third grade
	弱异势 Weak different trend	$a < b, 0.191 < a < 0.309$	
	强异势 Strong different trend	$a < b, 0 < a < 0.191$	
	准异势 Quasi different trend	$a = 0$ or $b = 1$	

注:  $a$ . 某单株  $A$  与理想单株  $B$  的相同程度,即同一度;  $b$ . 某单株  $A$  与理想单株  $B$  的差异度。

Note:  $a$  refers to the identical degree,  $b$  refers to the difference degree.

据表 1 可得联系势的显著性测验原则:若待评价单株的联系势处于同一势级,则表明单株间无显著差异;若待评价单株的联系势处于相同势态(同势或异势)中的不同势级,则表明单株间达显著差异;若待评价单株的联系势处于不同势态中,则表明单株间达极显著差异。

通过单株  $A$  与理想单株  $B$  的同异分析,若单株  $A$  处于同势级,则其属于一级单株;若处于均势级,则单株  $A$  属于二级单株;若处于异势级,则

单株  $A$  属于三级单株。一般地,一级、二级单株保留,继续种植,三级单株则淘汰。

由此可见,上述原理的实质就是通过对单株  $A$  与理想单株  $B$  的同一度和差异度的分析,从而确定单株优劣。因此,这种方法称为单株同异选择法。

## 1.2 单株同异选择的方法与步骤

令  $x_{gk}$  ( $g = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ ) 为第  $g$  个单株第  $k$  个性状的观察值。则单株同异选择的

方法与步骤为:

确定各个性状的理想值,得到理想单株性状集合 B。理想值即各个性状的最优值。记第  $k$  个性状的理想值为  $x_{0k}$ 。

求出待评价单株各个性状值与理想性状值

$$P = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

的同一度,构成性状同一度矩阵  $P$ 。矩阵中的元素  $a_{gk}$  称为待评价单株性状  $x_{gk}$  与理想单株性状值  $x_{0k}$  的同一度。通过对公式(1)中同一度定义作进一步拓展,有

$$a_{gk} = x_{0k} / x_{gk} \quad (\text{当 } x_{gk} > x_{0k} \text{ 时}) \quad (8)$$

$$a_{gk} = x_{gk} / x_{0k} \quad (\text{当 } x_{gk} < x_{0k} \text{ 时}) \quad (9)$$

$$a_{gk} = x_{0k} / (x_{0k} + |x_{0k} - x_{gk}|) \quad (\text{当 } x_{0k} \text{ 适中时}) \quad (10)$$

运用灰色关联度法<sup>[13]</sup>确定各性状的权重矩阵向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 。

构造待评价单株与理想单株性状集的综合同一度矩阵  $U$ 。

$$U = P \times W^T \quad (11)$$

$U$  中的元素  $A_g$  即第  $g$  个单株与理想单株性

$$A_g = \sum_{k=1}^m a_{gk} w_k \quad (g = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \quad (12)$$

据公式(1)、(2)写出各单株与理想单株性状集的联系式,由此可以看出同一度与差异度之间的大小比例关系。

据公式(4)、(5)、(6),计算各单株联系势值。

据表 1 同一度  $a$  与差异度  $b$  的关系,确定各单株联系势和单株等级。

评定为一级、二级单株的继续保留种植,确定为三级的单株淘汰。

## 2 单株同异选择方法在小麦育种中的实际应用

采用上述原理与方法,对小麦新品种豫麦 35、安麦 1 号、安麦 7 号在单株选择过程中的育种观察数据(表 2)进行分析。其中,安麦 1 号和安麦 7 号是从豫麦 13/周 8826 同一个组合中选育出来的不同类型的姊妹系,因此其单株选择过程中的考种数据相同。

需要说明的是,表 2 中所列数据均为室内考种数据,未列出抗寒性、抗病性、抗倒性、早熟性等育种过程中比较重要的性状。原因是这些性状在田间选择时已加考虑和注意,入选单株在这些性状方面基本上已达到育种目标要求。

表 2 几个小麦品种各世代的性状观察值

Table 2 Observation values of characters in different generations

品种 Variety	系谱号 Pedigree No.	株高(cm) Plant height	单株穗数 Ears per plant	穗粒数 Grains per ear	千粒重(g) 1000-grain weight	单株产量(g) Yield per plant	饱满度 Plumpness
豫麦 35 Yumai 35	87C29-66	77	7.5	42.9	49.7	46.0	0.5
	87C29-66-1	70	10	49.9	49.2	21.4	1
	87C29-66-1-25	80	13	81.2	46.1	48.5	1
安麦 1 号、安麦 7 号	8909-16-2	72	13	45.2	39.2	23	0.5
Anmai 1, Anmai 7	8909-16-2-1	65	12	46.0	40.9	17.6	0.5
	8909-16-2-1-1	65.5	11	46.2	40.9	18.8	0.5
理想值 Ideal value		65~80	13	81.2	49.7	48.5	1

### 2.1 单株各性状的理想值

理想单株即各性状均为最优值的单株,一般由所有待评价单株中的最优值组成。多年育种经验表明,株高应为适中性状,在育种稀点播情况下一般应在 65~80 cm 之间比较适宜,其余性状均以其最大值作为理想值(表 2)。

### 2.2 各世代单株各性状的同一度

据公式(8)~(10),得到各世代各性状的同一度如表 3 所示。

### 2.3 各世代各性状的权重

要综合评价单株优劣,各性状的重要程度显然不能等量齐观。而且随着杂交世代的递增,各性状的遗传力也会有所变化<sup>[14,15]</sup>。因此,各世代各性状的权重也不尽一致。据各世代田间入选单株性状观察值,采用灰色关联度法确定各性状权重如表 4 所示<sup>[13]</sup>。

### 2.4 各世代单株的综合同一度

据公式(12)得到各世代单株的综合同一度,列于表 5 第 3 列。一般地,单株综合同一度越大,

说明该单株与理想单株越接近,表现越好。

表 3 几个品种各世代性状的同一度

Table 3 Identical degree of characters in different generations

品种 Variety	系谱号 Pedigree No.	株高(cm) Plant height	单株穗数 Ears per plant	穗粒数 Grains per ear	千粒重(g) 1000-grain weight	单株产量(g) Yield per plant	饱满度 Plumpness
豫麦 35 Yumai 35	87C29-66	1	0.5769	0.5283	1	0.9458	0.5
	87C29-66-1	1	0.7692	0.6145	0.8893	0.4412	1
	87C29-66-1-25	1	1	1	0.9276	1	1
安麦 1 号、安麦 7 号	8909-16-2	1	1	0.5567	0.7887	0.4742	0.5
Anmai 1, Anmai 7	8909-16-2-1	1	0.9231	0.5665	0.8229	0.3629	0.5
	8909-16-2-1-1	1	0.5462	0.5690	0.8229	0.3876	0.5
理想值 Ideal value		1	1	1	1	1	1

表 4 几个品种各世代性状的权重

Table 4 Weighted coefficient of characters in different generations

世代 Generation	株高(cm) Plant height	单株穗数 Ears per plant	穗粒数 Grains per ear	千粒重(g) 1000-grain weight	单株产量(g) Yield per plant	饱满度 Plumpness
F <sub>2</sub>	0.0853	0.0740	0.0846	0.0854	0.5404	0.1303
F <sub>3</sub>	0.0941	0.0594	0.0752	0.0821	0.5955	0.0937
F <sub>4</sub>	0.0882	0.0671	0.0686	0.0967	0.5448	0.1346

表 5 几个品种各世代单株同异分析结果

Table 5 Identical-difference analysis of single plant in different generations

品种 Variety	系谱号 Pedigree No.	综合同一度 Synthetic identical degree	联系式 Connection formula	联系势值 Connection trend value	联系势 Connection trend	单株等级 Single-plant grade
豫麦 35 Yumai 35	87C29-66	0.8358	$0.8358 + 0.1642i$	5.0901	强同势 Strong identical trend	1
	87C29-66-1	0.6154	$0.6154 + 0.3846i$	1.6001	微同势 Mini-identical trend	1
	87C29-66-1-25	0.9930	$0.9930 + 0.0070i$	141.8571	强同势 Strong identical trend	1
安麦 1 号、安麦 7 号	8909-16-2	0.5952	$0.5952 + 0.4048i$	1.4704	微同势 Mini-identical trend	1
Anmai 1, Anmai 7	8909-16-2-1	0.5221	$0.5221 + 0.4779i$	1.0925	微同势 Mini-identical trend	1
	8909-16-2-1-1	0.5421	$0.5421 + 0.4579i$	1.1839	微同势 Mini-identical trend	1

## 2.5 各单株的联系式

据公式(1)、(2)写出各单株联系式(表5)。从联系式可以看出,单株同一度越大,差异度越小,则联系度越大。如豫麦 35 F<sub>4</sub> 代单株同一度为 0.9930,差异度为 0.0070,说明该单株育种目标性状与理想单株性状的符合度为 99.3%,这是确定的部分。另有 0.7%与理想单株是有差异的,且是不确定的,其不确定程度决定于  $i$  的取值。也就是说,同一度与差异度是矛盾的两个方面,它们以  $i$  为纽带,共处于单株这个统一体中。若  $i$  取正值,这部分可转化为同一度, $i$  取负值,则这部分便转化为差异度。一般地,由于同一度与差异度为互补关系,故在单株同异分析中  $i$  取 -1,于是该单株与理想单株的联系度为  $0.9930 - 0.0070 = 0.9860$ ,说明该单株具有较高的联系度,综合性状已基本上达到理想状态。其余单株的分析与此类同。

## 2.6 各单株的联系势及单株等级

据公式(4)、(5)、(6)计算各单株联系势值,据表 1 同一度与差异度的关系,确定各单株联系势及单株等级。由表 5 可以看出,各单株的联系势值均大于 1,由上述定义 3 可知,各单株与理想单株的联系势均处于同势状态。因此,豫麦 35、安麦 1 号、安麦 7 号各世代田间中选单株均一级单株。此后,这些优良单株均上升为优良品系,并在河南省区域试验中表现优异,通过河南省农作物品种审定委员会审定。近年来,这几个品种在大规模推广过程中表现出突出的高产、稳产、抗病性,累计推广面积达到 135 万 ha,产生了巨大的经济效益和社会效益。由此可见,单株同异选择原理与方法用于指导小麦育种是切实可行的。

## 3 讨论

单株同异选择方法应用于小麦单株选择过

程,克服了传统育种凭经验决定取舍的局限性,在单株选择的定量化方面作了有益的尝试和探索,从而使单株选择更客观、更科学。

单株同异选择方法可同时考虑多个性状,避免了传统育种考察单株时面对大量数据无从下手、顾此失彼的现象发生,使多个育种目标能够彼此和谐地处于一个统一体中。

单株同异选择方法计算简单,容易掌握,便于推广。编制成计算机程序,将更为快捷。因此,这种方法具有广阔的应用前景。单株同异选择方法在豫麦 35、安麦 1 号和安麦 7 号选育过程中的应用从育种实践的角度进一步证明了这种方法的可行性。由于作物育种过程具有类同性,所以这种方法也可同时应用于其它作物育种的单株选择过程中,成为育种工作的有效工具和手段。

由于单株同异选择是针对单株表现型进行的,所考察的性状是基因型与环境互作的结果。因此,该方法与分子标记辅助选择技术结合起来将是今后一个很有意义的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] Smith H F. A discriminant function for plant selection [J]. *Annual Eegenics*, 1936, (7): 240 - 250.
- [2] Kempthorne O, Nordskog, A W. Restricted selection indices [J]. *Biometrics*, 1959, 15: 10 - 19.
- [3] Tallis, G M A. Selection index for optimum genotype [J]. *Biometrics*, 1962, 18: 120 - 122.
- [4] Lin C J. Index selection for genetic improvement of quantitative character [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1978, 52 (2): 49 - 56.
- [5] 王福亭, 郭瑞林. 改进列联表法在小麦育种中的应用 [J]. *作物学报*, 1991, 17(1): 11 - 17.
- [6] 郭瑞林, 宋长江, 杨春玲, 等. 小麦单株灰色选择方法研究 [J]. *河南农业大学学报*, 1992, 26(4): 410 - 416.
- [7] 薛国典, 郭瑞林, 宋长江. 单株灰色选择理论在小麦育种中的应用 [A]. 第三届全国作物遗传育种学术会论文集 [C]. 北京: 中国科技出版社, 1994. 281 - 288.
- [8] Guo R L. The application of grey system to wheat genetic breeding - grey selection [J]. *The Journal of Grey System*, 1992, 4(3): 269 - 280.
- [9] Guo R L, Wang Y S, Wang S Y. The testing and verifying of single-plant grey selection in millet breeding [J]. *The Journal of Grey System*, 1999, 11(1): 29 - 34.
- [10] 赵克勤. 集对分析及其初步应用 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000. 9 - 12.
- [11] 郭瑞林, 杨春玲, 关立, 等. 小麦品种区域试验的同异分析方法研究 [J]. *麦类作物学报*, 2001, 21(3): 60 - 63.
- [12] 郭瑞林. 同异分析的联系势测验及其在小麦品种区域试验中的应用 [J]. *麦类作物学报*, 2004, 24(1): 63 - 65.
- [13] 郭瑞林. 作物灰色育种学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 166 - 188.
- [14] 潘家驹. 作物育种学总论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 59 - 60.
- [15] 郑彦平译. 作物育种原理与方法 [M]. 北京: 农村读物出版社, 1992. 28 - 31.

(上接第 410 页)

年份间均有变化,每年的结果都会有偏差,故需要连续多年的试验,才能得到准确的鉴定结果。

#### 参考文献:

- [1] 王庆仁, 李继云, 李振声. 植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(2): 107 - 116.
- [2] Batten G D. A review of phosphorus efficiency in wheat [J]. *Plant and Soil*. 1992(146): 163 - 168.
- [3] 贺明荣, 王振林, 曹鸿明. 不同小麦品种磷素吸收运转差异及其与利用效率的关系 [J]. *西北植物学报*, 1998, 18(5): 113 - 117.
- [4] 孙海国, 张福锁, 杨军芳. 不同供磷水平小麦苗期根系特征与其相对产量的关系 [J]. *华北农学报*, 2001, 16(3): 98 - 100.
- [5] 孙海国, 张福锁. 缺磷胁迫下的小麦根系形态特征研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 295 - 299.
- [6] 郭再华, 贺立源, 黄魏, 等. 耐低磷水稻筛选与鉴定 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 642 - 648.
- [7] 杨瑞吉, 张小红, 王鹤龄, 等. 不同基因型春小麦对磷胁迫适应性研究 [J]. *西北植物学报*, 2005, 25(11): 2314 - 2318.
- [8] 王庆仁, 李继云, 李振声. 不同基因型小麦磷素营养阈值的研究 [J]. *西北植物学报* 1999, 19(3): 363 - 370.
- [9] 刘鸿雁, 黄建国, 魏成熙, 等. 磷高效基因型玉米的筛选研究 [J]. *土壤肥料*, 2004(5): 25 - 29.
- [10] 李振声, 冯锋, 杨新泉. 植物高效利用土壤养分潜力和土壤环境良性循环 [J]. *中国基础科学*, 2001, (7): 45 - 48.