

灰色系统理论在高油玉米授粉者选育中的应用

范弘伟 宋同明 陈绍江 段民孝 滕文涛

(中国农业大学作物学院)

摘要 采用灰色系统理论,构造高油授粉者理想型作为参考组合,对多种高油杂交种类型进行分析,并对筛选出的高油授粉者和不育单交种进行三利用模式组配。结果表明:灰色系统理论具有所需样本少、结果直观明确的优点,适合理想高油授粉者的初步筛选;提出的高油授粉者理想型比较符合生产实践;超高油单交种、高油单交种、高油三交种是合适的授粉者类型;已选育出一批含油率接近高油 115 的 TEU 掺和种。

关键词 灰色系统理论;高油玉米;高油授粉者;花粉直感

分类号 S513 035

Application of Grey System Theory to Breeding High-oil Pollinators of Maize

Fan Hongwei Song Tongming Chen Shaojiang Duan Minxiao Teng Wentao
(College of Crop Science, CAU)

Abstract The ideal type of high-oil pollinator (HOP) as reference corn cross, many kinds of hybrids were selected as HOPs by using grey system theory, and the effects of blending HOPs into CMS hybrids were evaluated. The results show that: Grey relation analysis has many favorable benefits of use, such as fewer samples, convenient calculation and visible results and is suitable to be used for screening HOPs; The concept of ideal type of HOP is much more in line with production practices; (Super) high-oil single cross hybrid and high-oil three-way cross hybrid are all appropriate types for breeding HOPs; A series of seed blends have been selected, whose oil content are close to that of Gaoyou 115 (one popular high-oil single-cross hybrid).

Key words grey system theory; high-oil corn; high-oil pollinator; xenia effect

高油玉米籽粒含油率比普通玉米高一倍多,玉米油中亚油酸含量达 60% 以上,富含多种维生素和卵磷脂,有软化血管和美容保健的功效,是优质的植物油^[1];高油玉米籽粒和秸秆中的能量高,蛋白质、赖氨酸、维生素 E 等也高于普通玉米,是优质饲料,高油玉米有广阔的发展前景。但其遗传基础狭窄、仪器昂贵而且选育费工费时,育种家涉入者寥寥^[2]。宋同明等^[3,4]根据多年试验,将雄性不育节养增产、当代杂种优势和油分的花粉直感等 3 种遗传效应集成,提出了三利用模式(TEU)。利用此项技术,把高产常规不育杂交种和能与之花期相遇的授粉者掺和种植,授粉者自身含油率保持不变,而常规不育杂交种接受授粉者的花粉产生花粉直感效

收稿日期: 2000-08-17

国家自然科学基金资助项目(30070477)

范弘伟,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

应,含油率成倍提高,雄性不育节养和当代杂种优势效应使得产量略有增加,从而可以简便有效地实现普通玉米高产高油的双重目的。

本研究旨在提出高油授粉者理想型,从高油单交种、群体、群体间杂交种、三交种等杂交种类型中进行相似性模糊选择,期望能筛选出理想的高油授粉者,并选择其中与不育杂交种花期相遇的授粉者组成掺和种,供生产上应用。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

所用试材有4种类型,其下又设多个组合:ASK, BHO, Syn DO, RYD 和A IHO 共5个群体以及利用它们组配的10个群体间杂交种; 超高油单交种(BHO 选系 × ASK 选系)146个; 高油单交种(ASK 选系 × 国内改良系 100个, ASK 选系 × 国外选系 20个, BHO 选系 × 国内选系 50个, BHO 选系 × 国外选系 7个, 推广品种 4个); 三交种 48个: (ASK 选系 1 × 国内改系) / ASK 选系 2, (ASK 选系 × 国内改系) / BHO 选系。所有组合均为宋同明组配的鉴定材料,可以代表各类的实际水平。

1.2 试验方法

1999-05 种植于中国农业大学北京昌平试验站。散粉期记录株高、雄穗散粉高峰期和与花粉量有关的性状,包括花序长、主轴长、分枝平均长度、主轴小穗密度、分枝小穗密度、一级分枝数、次级分枝数以及主轴小穗行数。每小区13株,饱和自交2株,全部收获,晾干后测小区产量,自交穗利用核磁共振仪(MN ISPEC 20, BRUKER 产,以含水量13%为基础,下同)测定中部籽粒的含油率^[5]。

1999-11 将北京筛选的高油授粉者和C型不育单交种农大3138, 豫玉22, 农大108等种植于海南三亚南滨农场。选择花期相遇的高油授粉者给不育种杂交1穗,同时自交1穗。取自交穗和授粉穗测定含油率。

对参试组合与构造理想型的相似性进行灰色关联分析。数学定义设参考数列为: $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$, 比较数列为 $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ 。则比较数列 X_i 与参考数列 X_0 间在第 k 个点的灰色关联系数:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \sigma \min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \sigma \min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|}, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

取 n 个灰色关联系数的算术平均值,即得比较数列 X_i 对参考数列 X_0 的灰色关联系数:

$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k)$, 如果 n 个评估指标的重要性不相同,则应将左式改为: $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \varrho(k)$, (其中 $\varrho(k)$ 为第 k 个评估指标的权重),即可得到灰色加权关联度。

对高油授粉者理想型各项指标量化,作为参考组合^[6,7]。不同性状赋予不等权重,丛滋金等^[8]估计杂交种植株所结籽粒的含油率 = 0.62 × 常规不育杂交种的含油率 + 0.38 × 高油授粉者的含油率。若使不育株所结籽粒含油率达到8%,不育单交种含油率以4%计算,则高油授粉者的含油率则需达到15%,含油率是选育高油授粉者最重要的指标,权重设为0.4;为了保证不育单交种结实率不受影响,高油授粉者应有较长的散粉高峰期和较大的花粉量,权重分别设为0.2,花粉量的权重又根据花序长、主轴长、分支平均长度、主轴小穗密度、分支小穗密度、一

级分支数、次级分支数、主轴小穗行数等性状进行细分; 授粉者株高稍高或与不育单交种持平, 既保持较好的授粉态, 田间整齐度又好, 故株高权重设为 0.2。

采用自编 Q basic 程序处理数据, 在 UC DOS 系统支持下联想 586 微机上通过, 不等权重和无量纲化, 分辨系数 $\sigma=0.5$ 。

2 结果与分析

2.1 高油授粉者灰色关联度综合评判

将授粉者理想型、权重、高油群体和群体间杂交种北京点的主要农艺性状平均值和灰色加权关联度列于表 1, 运用同样的方法对北京试验点的其他杂交种类型进行分析, 得到各个组合的灰色加权关联度, 这里只列举各种类型的灰色加权关联度范围(表 2)。

表 1 授粉者理想型、权重、高油群体及其杂交种的主要农艺性状和灰色加权关联度

组合	关联度	含油率 w/%	散粉高 峰期 t/d	株高 h/cm	花序长 l/cm	主轴长 l/cm	分支平均 长度 l/cm	主轴小穗 密度/个·cm ⁻¹	分支小穗 密度/个·cm ⁻¹	一级分 支数	次级分 支数	主轴小 穗行数
理想型	-	15.00	12	270	55	30.0	23.0	13.0	5.0	25	10	8
A HO	0.775	14.07	11	214	46	25.0	20.4	11.1	4.0	23	6	7
Syn DO/BHO	0.717	10.60	12	239	51	26.7	21.4	10.9	4.0	24	8	6
ASK/BHO	0.698	10.58	11	248	53	26.7	20.3	8.9	4.4	22	8	7
RYD/ASK	0.696	10.86	10	245	50	26.2	20.2	11.3	4.6	25	8	7
ASK/Syn DO	0.677	10.02	11	240	52	29.3	21.3	11.6	3.9	22	6	7
RYD/BHO	0.675	9.26	11	243	53	28.5	21.9	10.9	4.3	24	6	7
A HO/BHO	0.671	12.33	9	226	49	25.6	20.7	10.7	3.9	25	9	6
RYD/A HO	0.667	12.00	8	230	49	26.1	21.3	11.4	4.8	24	7	6
ASK/A HO	0.661	12.49	8	213	49	26.1	19.7	11.7	4.3	27	7	7
BHO C13	0.651	9.910	10	246	51	27.4	20.0	9.3	4.2	21	6	6
RYD	0.644	9.17	10	247	52	27.3	21.2	11.2	4.5	21	6	7
Syn DO/A HO	0.634	11.62	7	233	49	26.8	22.0	12.1	3.7	23	7	7
ASK	0.633	10.83	9	231	49	25.5	19.5	11.6	4.9	19	5	7
Syn DO	0.628	9.33	9	248	49	27.0	20.0	10.9	4.2	22	5	7
RYD/Syn DO	0.617	9.10	9	244	49	27.0	20.6	12.2	3.9	23	6	7
权重		0.40	0.2	0.2	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02

从表 2 可以看出, 灰色关联度最高的类型为超高油单交种, 其次是高油群体、群体间杂交种, 然后是高油三交种, 以高油单交种较差, 其中又以 BHO 选系 × 国外改良系最差。将灰色关联度排名前 5 位的超高油单交种主要农艺性状列于表 3。可以看出, 超高油单交种大部分农艺性状与理想型接近, 优点是含油率高, 均大于 12%, 最高达 15.46%。缺点是散粉高峰期太短, 只有 3~5 d, 短于群体和群体间杂交种(7~12 d)。

表 2 不同杂交种类型的灰色加权关联度范围

授粉者类型	组合类型	关联度范围
超高油单交种	BHO 选系 × ASK 选系	0.831~0.771
高油群体及其杂交种	5 个群体及其杂交种	0.775~0.617
高油三交种	(ASK 选系 × 国内改良系)/ BHO 选系或 ASK 选系	0.696~0.612
高油单交种	ASK 选系 × 国内改良系 BHO 选系 × 国内改良系 推广高油品种 BHO 选系 × 国外改良系	0.655~0.611 0.654~0.603 0.655~0.553 0.594~0.555

表3 部分超高油单交种主要农艺性状与理想型比较

组合	关联度	含油率	散粉高	株高	花序长	主轴长	分支平均	主轴小穗	分支小穗	一级分	次级分	主轴小	每穗穗
	排序	w/%	峰期 t/d	h/cm	l/cm	l/cm	长度 l/cm	密度/个·cm ⁻¹	密度/个·cm ⁻¹	支数	支数	穗行数	小穗数
理想型	—	15	12	270	55	30	23	13	5	25	10	8	—
N981754/60	1	14.77	3	263	56	31	25.5	8	5	16	9	6	1884
N981823/8	2	14.53	5	253	50	29	23	10.9	3.2	15	3	6	1880
N981800/1793	3	15.46	4	279	52	31	27	5.3	4.3	10	4	4	2196
N9881761/70	4	13.61	4	265	56	31	23	6.7	3.3	18	10	5	1181
N981805/9	5	14.25	5	221	47	30	20	10	5.1	16	6	6	2173

2.2 测交结果分析

对初步筛选的高油授粉者种植于海南三亚,选择与C型不育农大3138、豫玉22、农大108等花期相遇的授粉者测交,含油率测定结果列于表4。

表4 高油授粉者及其对C型不育单交种测交当代的含油率比较

授粉者类型	授粉者含油率	农大3138		农大108		豫玉22	
		测交含油率	提高百分率	测交含油率	提高百分率	测交含油率	提高百分率
超高油单交种							
N981754/8	13.72	—	—	7.50±0.28	113	7.06±0.32	93
N981722/9	12.7	7.15±0.13	123	7.75±0.46	120	7.12±0.53	95
N981827/8	11.69	4.96±0.15	55	6.55±0.27	86	—	—
N981815/8	11.68	—	—	8.20±0.66	133	7.00±0.47	92
N98459/60	11.43	5.57±0.14	74	6.41±0.27	82	7.77±0.17	113
N981754/60	11.02	6.40±0.14	100	6.46±0.17	84	7.29±0.21	100
N981774/8	10.42	6.50±0.19	103	6.59±0.31	87	7.81±0.35	114
高油三交种							
N981601-2/5	10.1	5.03±0.39	57	5.74±0.56	63	6.44±0.28	76
N981591-2/9	9.21	5.59±0.22	75	5.11±0.19	45	6.01±0.42	65
N981621-2/8	8.29	—	—	5.65±0.42	61	4.46±0.26	28
高油单交种							
高油298	8.22	4.75±0.30	48	5.00±0.55	42	—	—
高油202	7.89	4.93±0.23	54	4.62±0.38	31	—	—
高油293	7.25	4.26±0.37	33	4.90±0.31	39	—	—
高油115	6.86	4.66±0.27	46	—	—	5.03±0.63	38

农大3138、农大108和豫玉22自交含油率分别为3.2%、3.52%和3.65%;—为花期不遇,未授粉。

在各杂交种类型中,高油群体、高油群体间杂交种散粉早,花期与不育单交种不协调,没有授粉。从表4可以看出,高油授粉者可以显著地提高C型不育单交种的含油率。以超高油单交种效果最明显,大部分测交组合达到了高油115的含油率水平;高油三交种次之,高油单交种较差。

3 讨论

灰色系统理论具有所需样本少、结果直观明确的优点, 适合理想高油授粉者的初步筛选, 结果符合生产实践。权重和理想型的确定值得商榷, 要依据选育目标而定。

3.1 高油授粉者的理想型与性状改良

高油授粉者理想型是: 含油率 15%, 散粉高峰期 12 d, 株高 270 cm, 花序长 55 cm, 主轴长 30 cm, 分支平均长度 23 cm, 主轴小穗密度 $13 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-1}$, 分支小穗密度 $5 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-1}$, 一级分支数 25 个, 次级分支数 10 个, 主轴小穗行数 8 行。

含油率是多基因控制的数量性状, 以加性遗传效应为主, 显性方差较小, 具有较高的遗传性^[9, 10], 轮回选择是获得高油玉米基础材料的最有效途径, 高油自交系可以采用回交法或直接从高油群体中选育。散粉高峰期的遗传效应未见报道, 目前可以利用遗传分离群体或人工掺和群体。一般认为常规玉米雄花长在植株顶端, 发育早于雌穗, 较小雄穗有益于高产, 授粉者则不同, 它是雄性不育单交种的花粉供应者, 要求雄穗发达, 花粉量大, 雄穗有关性状的遗传研究较少。霍仕平^[11]认为小穗着生密度、分枝数和主轴长度的狭义遗传力很高, 其次为平均分枝长度, 而且经过通径分析表明, 平均分枝长度和小穗着生密度与每穗小穗数的直接关系最大, 分枝数与每穗小穗数的间接关系很密切, 主轴长度的直接作用不大, 主要通过平均分枝长度而间接影响每穗小穗数, 因此可以对小穗着生密度和分枝数进行早代选择。目前我们已经培育出特大雄穗的高油自交系, 可以用于选育授粉者。

3.2 不育单交种和高油授粉者的花期调配

花期相遇好坏是组配三利用掺和种的重要依据。高油授粉者较长的散粉高峰持续期有利于花期相遇, 但并不意味着能花期相遇。根据前人的研究结果, 玉米花丝生活力一般可以维持 7~10 d, 吐丝后 1~4 d 授粉结实粒数最多, 雄穗散粉一般可维持 6~8 d, 以第 2~5 d 花粉量最大。花期相遇良好的标准是吐丝比散粉早 2~3 d^[12], 因此, 如果调整花期, 使得授粉者散粉与不育种吐丝同期或晚 2~3 d, 就能保证花期相遇良好。对于含油量高而开花期与不育单交种不同的授粉者, 可以参照制种的方法, 通过改变播期或播种方式加以利用。花期相差不大时, 可以采取不同播种浓度、拌种、浸种等促控措施使花期相遇, 这种方法一般可以使开花期延迟 1~4 d; 如果相差天数较多, 可以采取错期播种的方法, 先种开花晚者, 隔一定天数再种另一个。此外, 还可以采取分期播种授粉者的方法延长散粉期, 保证不育单交种吐丝期有足够的花粉供应。具体的花期调配方案应依不同掺和种的生育特点和不同气候条件经过多年试验而定。

3.3 高油授粉者的类型及其改良

超高油单交种、三交种、高油单交种是合适的高油授粉者类型, 但各有优缺点。

超高油单交种含油率高, 掺和后可以使不育单交种含油率提高 1 倍, 达到主推品种高油 115 的水平, 但其最大缺点是散粉高峰期很短, 有待通过遗传改良加以克服。比如: 选择散粉高峰期长的高油自交系配制单交种或选育姊妹系组配改良单交种, 也可以用散粉高峰期部分错开的几个超高油单交种掺和用作高油授粉者, 或者选用类似于 3.2 节的方法; 高油三交种含油率有分离, 且含油率有待提高; 高油单交种产量高, 但 BHO 选系组配的杂交种含油率较低, 短期内还不能用作选育高油授粉者, 通过 BHO 含油率的轮回选择, 再从中选系, 有望选出高油授粉者。

高油群体和群体间杂交种由于过于早熟和丰产性差,不适合选育授粉者,顶交种、双交种、 F_2 等分离群体能否用作高油授粉者还有待研究。

参 考 文 献

- 1 宋同明 抓住有利时机,积极发展高油玉米 种子世界, 1993, (1): 15~ 16
- 2 宋同明主编 高油玉米 北京: 北京农业大学出版社, 1992
- 3 丛滋金, 宋同明 雄花不育、单交种再杂交、花粉直感与高产、优质高油玉米生产. 全国作物育种学术讨论会论文集, 1998, (4): 216~ 221
- 4 丛滋金, 宋同明 不育杂交种生产高油玉米的可行性研究 作物杂志, 1998, (增刊): 104~ 106
- 5 宋同明 脉冲核磁共振仪(Pulsed NMR)对作物种子含油率的快速测定 作物学报, 1989, 15(2): 160~ 166
- 6 郭瑞林 作物灰色育种学 北京, 中国农业科技出版社, 1995
- 7 吴敏生, 戴景瑞 灰色系统理论在玉米育种上的综合应用 华北农学报, 1999, 14(2): 30~ 35
- 8 丛滋金 杂交当代玉米油分基因的遗传效应及应用研究: [学位论文] 中国农业大学, 1996
- 9 Duley J W, Lambert R J. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. Crop Sci, 1977, 17: 111~ 117
- 10 刘仁冬 玉米籽粒含油量的配合力、方差成分和遗传力及其应用的研究 中国农业科学, 1992, 25(6): 52~ 57
- 11 霍仕平 玉米雄穗的遗传和相关性研究 作物学报, 1993, 19(6): 515~ 519
- 12 陈彦惠主编 玉米遗传育种学 郑州: 河南科学技术出版社, 1996