

## 摘 要

本文总结了利用印迹法对杂交 3 代和回交 2 代开始进行定性检测杂种世代亚麻酸含量。(其中在杂交 5 代的 290 个株系和回交 4 代 178 个株系的亚麻酸含量定性测定中表明, 在杂交 5 代群体和回交 4 代群体中, 亚麻酸含量低于 5% 的株系各为 235 个和 74 个, 占群体百分数分别为 81.03% 和 41.57%。说明通过有性杂交组合方式, 从 E1747 引进低亚麻酸基因性状是可以真实表达的, 对千粒重和含油率测定选择结果表明, 杂交 5 代和回交 4 代群体的千粒重和含油率均显著高于原始亲本 E1747, 接近或略高于高亚麻酸亲本。)气相色谱技术对各脂肪酸组成的定量分析结果认为, 亚麻酸含量与亚油酸含量和软脂酸含量呈极显著的负相关关系, 与油酸含量呈显著的正相关关系, 与硬脂酸含量无明显的相关关系。亚油酸含量与油酸含量呈极显著的负相关关系, 与软脂酸含量呈极显著的正相关关系, 与硬脂酸含量无显著的相关关系。油酸含量与软脂酸含量呈极显著的负相关关系, 与硬脂酸含量呈显著的正相关关系。硬脂酸含量与软脂酸含量无明显的相关关系。亚麻酸含量与千粒重呈极显著的正相关关系, 与含油率无明显的相关关系。

关键词: 胡麻 印迹法 亚麻酸含量 脂肪酸组成 千粒重  
含油率

# Studies on Transfer Effect of Low-ALA Character in Flax

## Abstract

The qualitative analysis of linolenic content of the 5th generation of hybridization in 290 strains and the 4th generation of backcross in 178 strains has been determined in this study. The group of the 5th generation of hybridization and the 4th generation of backcross, the strains that contain linolenic beyond 5% are 235 and 74, respectively, their percentage in group are 81.03 and 41.57, respectively. The study indicated that genetic character of low linolenic content imported from E1747 can be genetic by means of sexual hybridization. The test results of one-thousand-grain weight and fatty content are: The one-thousand-grain weight and fatty content in the group of the 5th generation of hybridization and 4th generation of backcross are remarkably higher than the initial E1747 and accessing to or a little bit higher than high linolenic content parents. The quantitative analysis result of different fatty acid determined by GLC technology indicated that correlative existed in the five sorts of fat acid. The correlativity of linolenic content and one-thousand-grain weight is positive. There is no remarkable correlativity between linolenic and fatty content.

Key words: *Flax*    *Spot test*    *Linolenic content*  
*Component of fatty acid*    *One-thousand-grain weight*  
*Fatty content*

Postgraduate: Zheng wei            (Crops Genetic & Breeding)

Directed by Prof. :Li xinwen



## 1 引言

### 1.1 对胡麻油脂的利用

胡麻 (Linseed) 即油用亚麻, 是亚麻栽培类型之一。在内蒙古, 甘肃, 山西, 河北坝上, 宁夏等西北地区有广泛种植<sup>[1, 3, 4]</sup>。

胡麻油的油色美, 气味芳香, 油质良好, 是我国北方群众普遍喜爱的食用油。与其它植物油相比, 胡麻油最突出的一个特点是含有丰富的不饱和脂肪酸, 特别是  $\alpha$ -亚麻酸, 其含量在 50% 左右 (见表 1-1)。但是亚麻酸在空气中易发生氧化作用, 使油变味, 从而缩短了胡麻油的储存期也降低了胡麻油的食用价值<sup>[1, 2]</sup>。国外学者也认为, 只有当胡麻油中的  $\alpha$ -亚麻酸含量降低到 2% 以下时, 才适合食用<sup>[2, 5]</sup>。同时由于高含量的  $\alpha$ -亚麻酸的存在, 使胡麻油成为一种良好的干性油, 在许多工业部门, 如油漆、涂料、皮革, 橡胶等工业上有着广泛的用途。在美国, 自从 70 年代后期以来, 每年都要消费掉 70000 吨含有胡麻油成份的干性油和色素粘着剂<sup>[1, 2]</sup>。因此, 现在商品胡麻油不仅是一种良好的食用油, 也是一种重要的工业用油。

表 1-1 食用植物油成分的比较

种类 category	酸的组成及含量% composition&content									
	油酸 (18:1)	亚油酸 (18:2)	亚麻酸 (18:3)	芥酸 (22:1)	棕酸 (16:0)	硬脂酸 (18:0)	花生酸 (20:1)	廿碳四酸 (20:4)	山岑酸 (22:0)	肉豆蔻酸 (14:0)
红花油 safflower	11.9	73.90	0.3		2.1-8.4	1-6.5	0.4-1.2			
向日葵油 sunflower	29.3-60	46.7-65.0	0.2-0.5		4.6-6.8	1.7-3.9			0.3-1	
芝麻油 sesame	35-49	37.7-48.4				3.6-5.7	0.4-1.2			0-0.3
大豆油 soybean	22-30	50-60	5-9		7-10	2-5	1-3	1-3	1-3	
菜籽油 canola	14-29	12-24	1-10	31-35	1-4	0.2-1	0.4-1	0.8-1.5	0-1.5	
棉籽油 cotton	18-30.7	44.9-55			21.6-24.8	1.9-2.4	0-0.1			0-0.5
花生油 peanut	39.2-65	16.8-38.2			7.3-12.9	2.6-5.6	3.8-9.9	3.8-9.9	3.8-9.9	
胡麻油 flax	28.3	14.7	41.8-51.8		7.9	2.9	0.8			微

## 1.2 脂肪酸对人体健康的营养作用

食用油脂,除了供给人体热能和必需的脂肪酸外,尚可提供食品の色、香和味,增进适口性和饱食感,递送人体需要的脂溶性物质,如维生素 A、D、E 和 K 等。新近一些文献报道油脂在人体生理机能上扮演极其重要的角色,特别是对癌症,冠状动脉疾病的预防或促进血小板凝集,血栓的形成以及胆固醇和三酰甘油的增减等均有正负面的作用<sup>[6]</sup>。下面一一说明。

### 1.2.1 油脂中的脂肪酸及其分类

油脂主要成分为三酰甘油类,约占油脂的 95%。三酰甘油类水解,可产生甘油和脂肪酸,后者约占其重量的 95%,所以油脂所含的脂肪酸的种类,结构和性质,影响着食用油脂的物化特性和生理功能<sup>[1, 6, 7]</sup>。

植物脂肪酸根据其有无不饱和双键,可以分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸两类。前者如月桂酸、肉豆蔻酸,棕榈酸、硬脂酸和花生酸等,因无双键,含能量较低,不易被消化、吸收;后者如棕榈油酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸、芥酸等,含能量高,一般易于被消化吸收<sup>[8]</sup>。

### 1.2.2 各种脂肪酸对人体一些生理功能的影响

#### 1.2.2.1 饱和脂肪酸

食用油脂中,除了少量低碳(C<sub>4</sub>—C<sub>10</sub>)饱和脂肪酸及硬脂酸外,其他饱和脂肪酸被认为能够增加血液中胆固醇的浓度。硬脂酸由于在体内转化为油酸,故不易影响血液中的胆固醇的浓度。

#### 1.2.2.2 不饱和脂肪酸

有关多不饱和脂肪酸的研究已被冷落了多年,但自从 80 年代中期国外发现富含长链 $\omega$ -3 脂肪酸 EPA(二十碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)的鱼油有降低冠心病等心血管疾病发病率的独特作用之后,人们重新对多不饱和脂肪酸的研究关心起来,特别是多不饱和脂肪酸特殊的营养生理作用,倍受研究者关注<sup>[11]</sup>。

##### 1.2.2.2.1 油酸

油酸是许多植物油的主要成分,它含有 18 个碳原子,带有 1 个双键。水解时可分为两段,每段 9 个碳原子,人体可以吸收<sup>[8]</sup>。营养学家认为;油酸(18:1)具有降低血中低密度脂蛋白合成,增加高密度脂蛋白含量

的作用，因此比亚油酸（18：2）更能有效地降低血中胆固醇含量，起到了软化血管，增加血管弹性的作用<sup>[9]</sup>。

#### 1.2.2.2.2 亚油酸和亚麻酸

亚油酸和亚麻酸是两种人体必需脂肪酸。所谓人体必需脂肪酸是一类人体生命功能所必需而又不能自身合成的脂肪酸。它在防治皮肤炎症，降低血脂和胆固醇，防止动脉硬化，健脑，改善视网膜功能，提高人体免疫功能，抗肿瘤方面有独特疗效<sup>[10]</sup>。

##### 1.2.2.2.2.1 亚油酸

目前，亚油酸在医学，生化等方面研究得比较深入。一般认为，在植物油脂各脂肪酸成分中，以亚油酸（维生素 F）对人体最为有利。它含有 18 个碳原子，带 2 个双键。热能高，分解时可把碳链断裂为 3 段，每段 6 个碳原子，所以容易被消化吸收。亚油酸是细胞膜的必要成份。此外，还有降低人体内血清胆固醇和甘油三酯的功能，并会软化血管和阻止血栓的形成，是心血管病患者的良好治疗剂。亚油酸在人体和单胃动物体内不能合成，必须由食物中供给，是最重要的必需脂肪酸。此外，它的生物学和生理作用还在于：第一，亚油酸消化后迅速以磷脂形式结合于胞膜，因为它能改善形成褶合分子构型的能力，对膜的强度，弹性和透性有很大影响。第二，亚油酸是许多不饱和脂肪酸合成的前体（图 1-1），由之形成前列腺类化合物等一系列代谢重要物质，对于维持人畜健康，调节其生理机能具有重要作用。

因此，在植物油成分中，亚油酸的比例大，其食用品质就较好<sup>[8]</sup>。

##### 1.2.2.2.2.2 亚麻酸

亚麻酸的研究相对于亚油酸研究起步较晚。随着对深海鱼类研究的深入，亚麻酸的研究才受到了人们的重视。

亚麻酸含有 18 个碳原子，带有 3 个双键，从理论上讲，它含有很高的能量，能断裂成 4 段，更易为人体所吸收。最近研究表明，亚麻酸是许多不饱和必需脂肪酸的前体（图 1-1）<sup>[8]</sup>。亚麻酸具有降压，降血脂、抑制血小板凝集，减少血栓形成、抗癌、保护视力，提高智力等作用<sup>[16]</sup>。对动物和灵长类的研究表明，如果母亲的食物中没有  $\omega$ -3 脂肪酸，其后代

的智力发育不健全，且视力受损。最近还有结果显示，食母乳的儿童在 7—8 岁的智商显著高于吃人工乳的儿童，这种不同很可能是缘于人工乳中的 DHA 缺乏<sup>[11]</sup>。另有研究指出，头脑中缺少三分之一的  $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸可导致老年痴呆<sup>[17]</sup>。最近几年对  $\gamma$ -亚麻酸的研究表明， $\gamma$ -亚麻酸在抗菌，治疗艾滋病、肿瘤及心血管疾病方面有独特疗效<sup>[18]</sup>。此外， $\gamma$ -亚麻酸还被发现可以用于糖尿病的辅助治疗，锌缺乏症的改善， $\gamma$ 射线放疗的增敏，对于亨廷顿氏舞蹈症，苯丙酮尿症，更年期综合症、帕金森氏症、哮喘、湿疹、甲状旁腺亢进等多种病症也具有不同的治疗效果<sup>[19, 20, 21, 22]</sup>。因而，亚麻酸的研究具有广阔的前景。

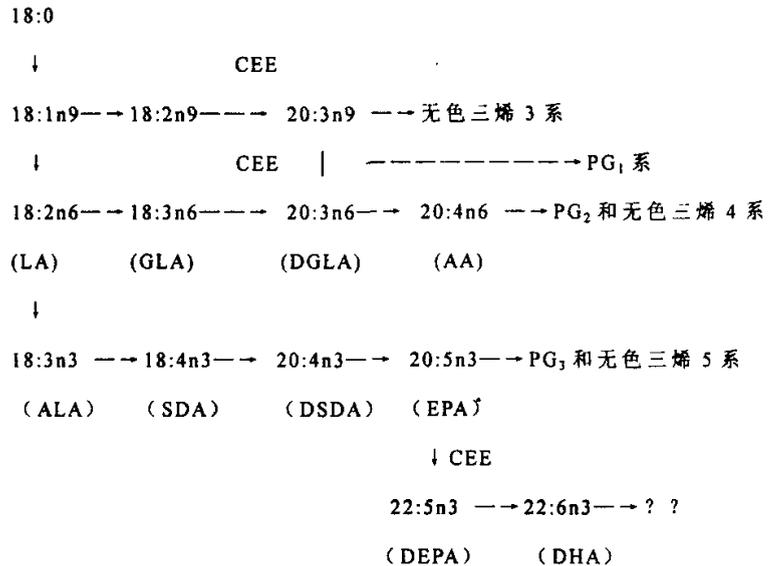


图 1-1 必需脂肪酸代谢图示 (J.F.Hudon, 1987)

LA: 亚油酸; GLA:  $\gamma$ -亚麻酸; DGLA: 三烯酸; SDA: 十八碳四烯酸; ALA:  $\alpha$ -亚麻酸;  
AA: 花生四烯酸; DSDA: 二十碳四烯酸; CEE: 链延长酶; PG 前列腺素类化合物。

综上所述，不饱和脂肪酸在人体生理机能上扮演极其重要的角色。但是不饱和脂肪酸容易发生氧化，产生过氧化物，其安全性不佳，易产生负面影响，包括：引起细胞膜的结构、胆固醇、维生素 E 性状的变化，引发一些慢性病。因此对油脂的食物必须注意各种脂肪酸，要按比例平衡摄取

才有助于健康<sup>[6]</sup>。

### 1.3 降低植物油中亚麻酸含量的研究进展

#### 1.3.1 降低胡麻油中亚麻酸含量的研究进展

由于亚麻酸含有 3 个双键,暴露于空气中其游离基易与氧发生聚合反应,产生异味,有损于油的贮藏品质。因而,国内外学者都积极开展低亚麻酸育种工作<sup>[8]</sup>。Holman 和 Rahm(1966)用紫外光辅助氧化后,亚麻酸和高度不饱和脂肪酸形成丙醛,它与硫代巴比妥酸(TBA)反应生成红色络合物<sup>[23]</sup>。所以,这种反应可用于高低亚麻酸含量基因型的定向选择,为了能够直观区别亚麻酸含量高、低不同的油菜,McGregor(1974)提出了斑点检测技术<sup>[24]</sup>,这就为低亚麻酸育种提供了方便、快捷、准确的检测方法,推动了低亚麻酸育种工作的进行。加拿大莎茨卡茨温大学作物发展中心的 G.G.Rowland 博士用 4%的甲基磺酸乙酯(EMS)处理胡麻栽培种 McGregor,目的是减少种子中的  $\alpha$ -亚麻酸含量,经过对后代种子的测定,获得三个很有希望的低亚麻酸突变体。通过对这三个品系的测验,至 M<sub>4</sub>代时亚麻酸含量减少。统计分析结果表明:所涉及的亚麻酸和亚油酸 F<sub>2</sub>群体的相关性为相关系数  $r=-0.95$ ,为极显著的负相关关系,而且控制亚麻酸合成的应为两个隐性基因。<sup>[12,13]</sup>2000年7月 G.G.Rowland 博士在内蒙古农业大农学院讲学期间指出,在胡麻生育期内,白天温度高,夜间温度低,也即昼夜温差大,有利于亚油酸的形成,从而降低种子中亚麻酸的含量。

#### 1.3.2 其他油料作物低亚麻酸育种的研究进展

国内外学者认为,植物油中的亚麻酸极易发生氧化而使油脂及其加工产品产生恶劣的气味,营养价值降低,甚至有毒性<sup>[25,26,27,28,29]</sup>。据 Smouse 等(1979)和 Mounts 等(1988)报道,用亚麻酸含量低的油脂烹调,会增加食物的油香味,减少豆腥味<sup>[28,29]</sup>。马淑英等(1999)对大豆籽粒的研究指出:亚麻酸相对含量与发育天数间呈现极显著的正相关,相关系数  $r=0.91^{**}$ ,饱和脂肪酸的降低与不饱和脂肪酸的增加均极显著,亚麻酸与油酸及亚油酸呈极显著的负相关,相关系数  $r=-0.85^{**}$ 和  $r=-0.81^{**}$ ,亚油酸与棕榈酸及硬脂酸呈极显著的负相关,相关系数  $r=-0.85^{**}$ 和  $r=-0.80^{**}$ <sup>[30]</sup>。裴东红(1995)总结国内外学者的研究表明,大豆籽

粒中亚麻酸含量的表现可能是由核中的具加性效应的一对主基因和一组修饰基因共同控制的。所以说既是简单遗传,在一定范围内又是数量性状遗传。而且,大豆籽粒中的亚麻酸含量随纬度升高,海拔升高和播种期的延迟而增高。大豆结荚至成熟期间的积温升高会使大豆籽粒中亚麻酸含量下降<sup>[15]</sup>。傅寿仲等(1995)对油菜的遗传分析表明:亚麻酸的遗传受1组主效基因控制;亚油酸的遗传受2—3组主效基因控制。相关分析指出,3种十八碳烯酸之间存在显著或极显著的负相关关系。其中,油酸与亚油酸含量的相关系数  $r=-0.5276$  ( $V=127$ ),油酸与亚麻酸含量的相关系数  $r=-0.4276$  ( $V=127$ ),亚油酸与亚麻酸的相关系数  $r=-0.2045$  ( $V=127$ )。

#### 1.4 本实验的主要目的及意义

(1) 分析亚麻酸,亚油酸和油酸三者之间的相关性。

(2) 利用杂交和回交的方式把低亚麻酸基因转育到已育成的高亚麻酸材料中,获得低亚麻酸含量的胡麻材料,同时提高亚油酸和油酸的含量。以提高胡麻油的耐贮性和达到脂肪酸营养平衡,从而改善胡麻油的食物品质。获得高产、高含油率和低亚麻酸的优良品系。

(3) 分析低亚麻酸含量与千粒重,含油率之间的相关关系。

(4) 对获取低亚麻酸胡麻材料的最佳育种方法进行比较研究。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

#### 2.1.1 杂交5代(即本试验编号为LH<sub>5</sub>)材料来源

LH<sub>5</sub>区材料是以G.G.Rowland博士培育出的亚麻酸含量稳定在2%左右的E1747后代种子做亲本,与当地一些优良材料进行正反交,然后连续5代定性检测亚麻酸含量。在此基础上,选取亚麻酸含量低于5%的材料,种植于内蒙古农业大学农场病圃中。具体亲本组合见表2-1-1。

#### 2.1.2 回交4代(即DF4区)材料来源

DF4区材料是用G.G.Rowland博士诱导成功的胡麻种子中亚麻酸含量稳定在2%左右的CE系列和E1747后代种子做亲本,与当地一些优良材料做正反交后,用父本做轮回亲本,连续回交三代再自交一代后获得。其中每一代均对其单株进行亚麻酸含量定性测定,选择亚麻酸含量低于

5%的材料种植于内蒙古农业大学农场病圃中。具体亲本组合见表 2-1-2。

表 2-1-1		LH <sub>5</sub> 亲本组合表	
编号	组合	编号	组合
2001-LH <sub>5</sub> -1 至 28	E1747×内亚三号	2001-LH <sub>5</sub> -142 至 159	92-S-5×E1747
2001-LH <sub>5</sub> -29 至 36	E1747×96-F <sub>1</sub> -73	2001-LH <sub>5</sub> -161 至 173	BJ-I-40×E1747
2001-LH <sub>5</sub> -37 至 51	E1747×96-F <sub>1</sub> -73	2001-LH <sub>5</sub> -174 至 187	E1747×96-P-III-4
2001-LH <sub>5</sub> -52 至 71	E1747×96-BJ-16	2001-LH <sub>5</sub> -188 至 195	E1747×H624
2001-LH <sub>5</sub> -72 至 113	E1747×96-BJ-20	2001-LH <sub>5</sub> -196 至 217	96-P-3×E1747
2001-LH <sub>5</sub> -114 至 120	E1747×96-BJ-38	2001-LH <sub>5</sub> -218 至 224	内亚三号×E1747
2001-LH <sub>5</sub> -121 至 122	96-F <sub>1</sub> -75×E1747	2001-LH <sub>5</sub> -225 至 250	E1747
2001-LH <sub>5</sub> -123 至 124	96-P-2×E1747	2001-LH <sub>5</sub> -251 至 282	E1747×喀什 143
2001-LH <sub>5</sub> -125 至 141	96-III-4×E1747	2001-LH <sub>5</sub> -283 至 291	其它 <sup>[1]</sup>

注：(1) 为历年所选材料中亚麻酸含量高，但种子粒大，饱满的材料

表 2-1-2		DF <sub>4</sub> 区亲本组合表	
编号	母本	父本	
2001-DF <sub>4</sub> -1	内亚三号×E1747	内亚三号	
2001-DF <sub>4</sub> -2 至 3	BJ-I-40×E1747	BJ-I-40	
2001-DF <sub>4</sub> -4	96-P-I-6	CE-11	
2001-DF <sub>4</sub> -5 至 17	E1747×BJ-40	BJ-I-40	
2001-DF <sub>4</sub> -18 至 23	内亚三号×E1747	内亚三号	
2001-DF <sub>4</sub> -24 至 28	95-I-2	93-II-5	
2001-DF <sub>4</sub> -29 至 34	96-P-3×E1747	96-P-III-3	
2001-DF <sub>4</sub> -35 至 48	96-P-III-1×E1747	CE-11	
2001-DF <sub>4</sub> -49 至 54	96-F <sub>1</sub> -75×E1747	96-F <sub>1</sub> -75	
2001-DF <sub>4</sub> -55	96-P-I-8	CE-11	
2001-DF <sub>4</sub> -56 至 66	96-P-I-8×F <sub>1</sub> -77	CE-11	
2001-DF <sub>4</sub> -67 至 72	96-F <sub>1</sub> -77×F <sub>1</sub> -106	CE-10	
2001-DF <sub>4</sub> -73 至 75	96-P-I-8×F <sub>1</sub> -77	CE-11	
2001-DF <sub>4</sub> -76 至 104	96-F <sub>1</sub> -77×F <sub>1</sub> -106	CE-10	
2001-DF <sub>4</sub> -105 至 155	其它 <sup>[1]</sup>		
2001-DF <sub>4</sub> -156 至 183	其它 <sup>[2]</sup>		

注：(1) 种子中亚麻酸含量低于 5%，但其母株未进一步做回交的材料。

(2) 种子中亚麻酸含量高于 5%，但其种子粒大，饱满的材料。

## 2.2 实验方法

### 2.2.1 仪器与药品

#### (1) 主要仪器设备

电热恒温箱      紫外灯箱      感量 0.0001 克的电子天平      电热  
恒温水浴锅      干燥器      索氏提取器

#### (2) 主要药品

2%硫代巴比妥酸      20%W/V 三氯乙酸      50%V/V 乙醇      无  
水乙醚(分析纯)

### 2.2.2 TBA 法(印迹法)

(1) 取胡麻种子数粒以相等距离摆放于滤纸上, 并固定于其上。

(2) 在带有胡麻种子的滤纸上再覆一层滤纸, 用石碾子将胡麻种子充分压碎, 压于重物下过夜。

(3) 将有油渍的滤纸置于紫外灯下照射 30 分钟(紫外灯距滤纸约 20 厘米左右)

(4) 将滤纸放入染液中染色 10—15 分钟。(染液成分为: 2%硫代巴比妥酸, 20%W/V 三氯乙酸和 50%V/V 乙醇, 三者按一定比例混合。)

(5) 将染好的滤纸放入 90—110℃ 的电热恒温箱中烘 20—30 分钟后, 取出、冷却、读色。

#### (6) 分级标准

① 冷却后滤纸上的油渍颜色为浅黄近至无色或黄色时, 说明该粒种子中的  $\alpha$ -亚麻酸含量低于 5%。

② 冷却后滤纸上的油渍颜色为桔红或深红色时, 说明该粒种子中的  $\alpha$ -亚麻酸含量高于 5%。

### 2.2.3 千粒重的测定

取 100 粒胡麻种子(去除杂质、残粒、瘪粒)于电子天平上称重, 然后乘以系数 10, 重复三次, 取其平均值, 即为该份胡麻材料的千粒重。

### 2.2.4 粗脂肪的测定

本实验所用方法为残余法。其基本原理是利用有机溶剂将植物样品中的脂肪浸出后, 根据样品所减少的重量计算其中脂肪的含量。其计算公式

为：

$$\text{粗脂肪\% (干样)} = \frac{\text{抽提前滤纸包重} - \text{抽提后滤纸包重}}{\text{干样重}} \times 100$$

具体实验步骤如下：

- (1) 将叠好的小滤纸袋和胡麻种子放入电热恒温箱中烘至恒重。
- (2) 将索氏提取器洗净,放入电热恒温箱中烘干。
- (3) 将烘至恒重的小滤纸袋放入干燥器中冷却至室温后,快速地在电子天平上称重。
- (4) 将烘至恒重的胡麻种子取出,于粉碎机上粉碎后放入已称重的小滤纸袋中,放入电热恒温箱中烘至恒重。
- (5) 从电热恒温箱中取出滤纸包放入干燥器中冷却至室温,快速地在电子天平上称重。
- (6) 将滤纸包浸入乙醚液中,浸泡 12—16 小时。
- (7) 安装索氏提取器,并将已浸泡过的滤纸包放入其中。通冷却水,同时调整电热恒温水浴锅内的水温在 40—45℃ 之间。浸提 12—16 小时。
- (8) 抽提完毕后,取出滤纸包。在通风处使乙醚充分挥发,然后将其放入电热恒温箱中烘至恒重。
- (9) 将烘至恒重的滤纸包取出,放入干燥器中冷却至室温,快速地在电子天平上称重。计算粗脂肪含量。

### 2.2.5 气相色谱法

由华中农业大学食品加工系测定。

## 3 结果分析

### 3.1 对胡麻种子中各主要脂肪酸含量的定量分析

为验证 TBA 法对种子中亚麻酸含量定性检测的准确性,我们从亲本、F<sub>1</sub> 代及 LH5 代、DF4 代中挑选了 100 份材料利用气相色谱技术作定量分析。

#### 3.1.1 气相色谱结果与 TBA 结果比较分析

在对胡麻种子中亚麻酸含量作 TBA 定性检验时,我们人为地划分了

表 3-1-1

胡麻种子中各脂肪酸含量表

样号	来源	软脂酸 (C16:0)	硬脂酸 (C18: 0)	油酸 (C18: 1)	亚油酸 (C18: 2)	亚麻酸 (C18: 3)	TBA 结果
1	E1747	6.3947	4.2678	17.0713	70.2411	2.0252	11111
2	93-II-5	6.5101	3.6315	25.5393	27.3147	37.0044	44444
3	96-92-S-5	6.162	5.3622	31.2042	13.3995	43.8721	44444
4	H-624	5.8742	4.7564	36.3987	13.6742	39.2965	44444
5	喀什-143	6.5536	5.5354	27.2943	14.8156	45.801	44444
6	内亚三号	5.6096	4.9027	33.3158	13.1591	43.0128	44444
7	CE-10	7.368	5.2432	23.3334	61.9637	2.0917	11111
8	CE-11	7.0376	5.3511	21.8755	63.4629	2.2828	11111
9	97-F1-38	7.731	4.8511	29.0704	32.0472	26.3003	44444
10	97-F1-39	6.7686	4.3718	31.58	29.8702	27.4094	44444
11	97-F1-55	6.2588	5.2246	26.6019	33.357	28.5577	44444
12	97-F1-58	6.2731	4.8511	22.0978	31.4749	35.3031	44444
13	97-F1-84	7.1418	4.3296	25.5563	37.468	37.468	44444
14	97-F1-87	6.2338	4.172	30.6186	26.3534	32.6221	44444
15	97-F1-89	6.5301	5.3122	29.0733	27.7559	31.3285	44444
16	97-F1-106	6.3941	4.7987	24.3486	32.7366	31.7221	44444
17	DF4-1	6.1617	4.3278	24.6594	14.2579	50.5933	44444
18	DF4-4	6.6684	4.0611	23.5859	62.8357	2.8489	11111
19	DF4-20	5.5633	3.9143	34.2751	29.0811	27.1661	33333
20	DF4-30	5.9881	2.9847	22.2083	66.9527	1.8662	11111
21	DF4-31	6.3635	4.618	18.2148	66.9049	3.8987	11111
22	DF4-47	8.2864	3.6266	17.8935	67.6483	2.5453	11222
23	DF4-48	8.0394	3.7069	18.5969	67.0675	2.4893	11222
24	DF4-54	6.8097	4.8818	18.9094	65.9716	3.4275	11222
25	DF4-55	6.8838	4.8734	20.3253	66.1437	1.7737	11222

续表 3-1-1

胡麻种子中各脂肪酸含量表

样号	来源	软脂酸 (C16:0)	硬脂酸 (C18: 0)	油酸 (C18: 1)	亚油酸 (C18: 2)	亚麻酸 (C18: 3)	TBA 结果
26	DF4-75	6.7456	4.5337	20.8039	66.1473	1.7695	22222
27	DF4-78	6.8543	4.8554	19.7471	62.1547	6.3884	22222
28	DF4-80	6.5381	4.5221	21.8562	65.6519	1.4316	22222
29	DF4-84	6.4524	6.24	24.0298	29.8273	33.4504	44444
30	DF4-91	6.7551	5.9942	20.078	65.184	1.9887	11111
31	DF4-92	6.3311	4.6143	21.4407	53.559	14.0549	33433
32	DF4-99	6.2475	5.0321	23.0266	33.3933	32.3005	44444
33	DF4-104	6.1412	5.3587	21.1814	33.5679	33.794	44444
34	DF4-105	6.9218	4.304	22.889	63.751	2.1342	11111
35	DF4-106	6.3912	3.9527	21.8558	63.7894	4.0101	11111
36	DF4-107	6.4647	4.2353	23.4575	63.6305	2.2119	11111
37	DF4-115	6.5109	5.0748	25.043	36.2566	27.1147	11443
38	DF4-116	6.5242	4.3703	26.1647	36.9864	25.9544	14344
39	DF4-142	6.3463	4.9454	19.8411	65.6637	3.2036	11111
40	DF4-146	6.4876	4.834	22.6041	64.6062	1.4681	11111
41	DF4-150	6.3527	4.3213	20.9777	65.5552	2.7931	11111
42	DF4-151	6.6619	4.3327	20.9802	63.7322	4.293	11111
43	DF4-178	6.5094	4.4558	27.4422	32.7496	28.8429	44144
44	DF4-179	5.993	4.5013	31.1465	17.4377	40.9215	44444
45	DF4-180	6.2958	4.1906	28.9035	34.8494	25.7607	44444
46	DF4-183	5.9746	3.7632	25.6557	31.3177	33.2887	44444
47	LH5-5	6.9529	3.6466	20.2282	66.9754	2.1968	2*10
48	LH5-16	6.2663	3.6169	26.528	61.664	1.9248	2*10
49	LH5-21	6.9531	3.6903	23.9636	63.8396	1.5534	2*10
50	LH5-29	7.3713	2.9888	20.8325	67.3436	1.4637	2*10

续表 3-1-1

胡麻种子中各脂肪酸含量表

样号	来源	软脂酸 (C16:0)	硬脂酸 (C18: 0)	油酸 (C18: 1)	亚油酸 (C18: 2)	亚麻酸 (C18: 3)	TBA 结果
51	LH5-35	6.8149	4.864	24.3332	61.5527	2.6106	2*10
52	LH5-36	6.3803	5.1117	22.7149	63.8667	1.9264	2*10
53	LH5-40	6.7914	5.844	24.8671	60.7516	1.7459	2*10
54	LH5-41	6.6634	5.711	23.862	61.7844	1.979	2*10
55	LH5-42	6.6845	6.1875	22.9652	62.2453	1.9175	2*10
56	LH5-52	7.0411	4.1252	18.9376	67.3169	2.5794	2*10
57	LH5-55	6.7789	4.0308	20.3059	66.1303	2.7541	2*10
58	LH5-59	6.7246	4.2176	23.3908	63.7151	1.9519	2*10
59	LH5-77	6.4593	4.2119	24.0333	63.2245	2.071	2*10
60	LH5-100	6.6394	4.3733	22.4912	64.6356	1.8604	2*10
61	LH5-101	6.9154	4.9934	24.3748	62.1717	1.5446	2*10
62	LH5-114	6.4319	4.6109	20.6096	66.4744	1.8732	2*10
63	LH5-118	6.0268	4.8536	21.3524	65.3835	2.3836	2*10
64	LH5-119	6.7235	4.2923	22.5165	64.4196	2.0481	2*10
65	LH5-121	6.5926	4.8274	24.8212	61.9219	1.8369	2*10
66	LH5-122	5.5009	4.9016	24.7392	62.9227	1.9355	2*9+4*1
67	LH5-123	5.4875	4.9207	24.7221	62.8993	1.9704	2*10
68	LH5-124	6.8871	4.2026	26.7522	60.3859	1.7722	2*10
69	LH5-131	7.0355	4.3763	23.3411	65.5489	1.6983	2*10
70	LH5-132	7.0192	4.4731	21.7176	64.6097	2.1804	2*10
71	LH5-138	6.3326	4.565	19.5687	67.356	2.1777	2*10
72	LH5-150	6.8452	4.9242	22.918	63.1734	2.1392	2*10
73	LH5-151	6.7831	4.8831	25.8421	60.4178	2.0739	2*10
74	LH5-155	6.245	5.6904	23.9155	61.6633	2.4859	2*10
75	LH5-162	6.3941	3.3857	17.5689	70.3967	2.2546	2*10

续表 3-1-1

胡麻种子中各脂肪酸含量表

样号	来源	软脂酸 (C16:0)	硬脂酸 (C18: 0)	油酸 (C18: 1)	亚油酸 (C18: 2)	亚麻酸 (C18: 3)	TBA 结果
76	LH5-164	6.2409	4.5384	17.6132	69.3147	2.2928	2*10
77	LH5-165	6.0967	4.4041	18.1673	68.6875	2.6444	2*10
78	LH5-175	6.1038	5.5644	21.9765	64.2899	2.0654	2*10
79	LH5-186	6.433	5.8391	25.8033	59.7587	2.166	2*10
80	LH5-187	6.1669	6.1009	23.4187	62.3842	1.9293	2*10
81	LH5-189	6.1612	4.3958	21.5996	64.1541	3.6893	2*10
82	LH5-190	6.379	4.5938	20.9436	66.1694	1.9141	2*10
83	LH5-195	6.0677	4.9816	24.0888	62.9521	1.9098	2*10
84	LH5-197	6.6317	4.4301	23.0776	63.6662	2.1944	2*10
85	LH5-205	6.9103	5.0973	22.2285	64.1179	1.646	2*10
86	LH5-206	6.3928	4.9174	20.8968	64.545	3.2481	2*10
87	LH5-218	6.5068	6.415	21.53	62.9146	2.6328	1*5+2*5
88	LH5-220	6.6342	6.3171	21.6043	62.982	2.4624	1*5+2*5
89	LH5-222	6.4048	5.4472	21.4285	64.8771	1.8423	1*5+2*5
90	LH5-234	6.3884	3.8363	18.6606	69.0723	2.0424	1*5+2*5
91	LH5-238	6.3373	3.803	19.0756	65.8134	4.9708	2*10
92	LH5-240	6.162	3.8591	20.3171	66.5153	3.1465	2*10
93	LH5-251	6.3272	4.5729	18.3775	67.283	3.4394	2*10
94	LH5-259	6.3628	4.5676	18.976	68.2472	1.8465	1*5+2*5
95	LH5-269	6.2037	4.6205	20.4166	66.821	1.9383	1*5+2*5
96	LH5-283	5.9931	5.5839	33.6651	52.0852	2.6727	2*10
97	LH5-285	5.3493	6.1796	36.2434	14.0185	38.2091	4*10
98	LH5-286	5.547	4.2313	26.1035	11.9516	52.1666	4*10
99	LH5-287	6.237	5.0576	29.2651	26.6523	32.788	4*10
100	LH5-291	6.7929	4.567	21.3285	60.7083	6.6033	2*10

表 3-1-2

供试材料亚麻酸含量统计表

总样 本数	TBA 等级为纯合 1、2			TBA 等级为混合 1、2、3、4			TBA 等级为 3、4			
	n	变幅	均值	n	变幅	均值	n	变幅	均值	
亲本	8	3	2.03-2.28	2.13			5	37.00-43.87	41.80	
F1 代	8						8	26.30-37.47	31.34	
DF4 代	30	18	1.43-6.39	2.81	3	25.95-28.84	27.30	9	14.05-50.59	32.37
LH5 代	54	50	1.46-6.60	2.33	1	1.94	1.94	3	32.79-52.17	41.05
总计	100	71	1.43-6.39	2.44	4	1.94-28.84	20.96	25	14.05-52.17	34.97

四个等级，其中 1 级和 2 级我们定为其亚麻酸含量低于 5%，而 3 级和 4 级我们定为其亚麻酸含量高于 5%。

从气相色谱结果来看，（见表 3-1-1 和表 3-1-2）TBA 结果为 1、2 级的 71 份材料的亚麻酸含量范围在 1.4316—4.9708 之间，只有两份材料的亚麻酸含量超出了 5%，分别为 6.6033 和 6.3884。TBA 结果为 3.4 级的 25 份材料的亚麻酸含量范围在 14.0549—52.1666。剩余 4 份材料的 TBA 染色色度分级结果分别为：11443（5 粒）、14344（5 粒）、44144（5 粒）、222222224（10 粒），其对应的亚麻酸含量分别为 27.1147、25.9544、28.8429、1.9355。

以上结果说明如下几个问题：第一，从气相色谱分析结果来看，我们所做的 TBA 定性分析结果是可靠的；第二，在 TBA 结果为 1、2 级的材料中，若其中混有（人为混杂或基因分离）TBA 结果为 3、4 级的种子量不超过 10%时，其亚麻酸含量仍可控制在 5%以下。

### 3.1.2 各主要脂肪酸之间的关系

从气相色谱结果来看，软酯酸（C16:0）和硬酯酸（C18:0）的变化幅度比较小，分别为 5.3493-8.0394、2.9847-6.4150。而油酸（C18:1）、亚油酸（C18:2）和亚麻酸（C18:3）的变化幅度比较大，分别为 17.0713-36.3987、17.9516-70.3967、1.4316-52.1666。

我们对油酸、亚油酸和亚麻酸三者之间的关系做了相关分析，结果为：

油酸和亚油酸的相关系数  $r=-0.7659^{**}$ ，油酸和亚麻酸的相关系数  $r=0.6335^{**}$ ，亚油酸与亚麻酸的相关系数  $r=-0.9790^{**}$ 。也即油酸与亚油酸呈极显著的负相关，而与亚麻酸呈极显著的正相关，这与傅寿仲等人在油菜上所做结果不一致。他们的结果为：油酸与亚油酸含量的相关系数  $r=-0.5276$  ( $V=127$ )，油酸与亚麻酸含量的相关系数  $r=-0.4276$  ( $V=127$ )，亚油酸与亚麻酸的相关系数  $r=-0.2045$  ( $V=127$ )。<sup>[9]</sup>我们试验认为亚油酸与亚麻酸呈极显著的负相关，这与 G.G.Rowland 博士所做结果相符<sup>[5]</sup>，而且相关系数也较接近 ( $r=-0.95$ )。这说明，我们的转育工作已初步获得成功。

### 3.1.3 亚麻酸含量与千粒重、含油率的关系

一个品种能否被我国生产者所接受，首先它的种子粒要大，也即千粒重要高。其次它榨出的油要多。因而我们对亚麻酸含量与千粒重、含油率这两个指标，做了相关分析，相关系数  $r=0.3379^{**}$  和  $r=-0.054$ ，即亚麻酸含量与千粒重之间存在极显著的正相关关系，而亚麻酸含量与含油率之间无明显的相关关系。或者说降低种子中亚麻酸含量，会在一定程度上降低千粒重，但不会降低种子中的含油率。千粒重降低这个问题在生产实际中可通过增加种植密度来解决，同时我们也期望通过产生突变系来解决这个问题。

## 3.2 TBA 法对胡麻种子中亚麻酸含量的定性分析

### 3.2.1 杂交 5 代 (即本试验编号 LH5)

#### 3.2.1.1 杂交世代三代 (1999 年至 2001 年) TBA 结果分析

	1999 年	2000 年	2001 年
供试材料数	3257	4975	290
TBA 结果为 1、2 级材料数	1043	3587	235
所占百分比	32.02%	75.58%	81.03%

由表 3-2-1-1,1999 年,我们对杂交世代杂种的 3257 份胡麻单株材料进

行了测定,获得 1043 份 TBA 结果为 1 级的纯合材料。2000 年,我们在其后代群体中,选择了 4975 份单株材料进行了 TBA 试验分析,获得 TBA 结果为 1、2 级的纯合材料 3587 份,占群体总数的 75.58%。依据 TBA 结果,同时也对其进行了千粒重的测定,选择千粒重高于 5.5 克的低亚麻酸材料 290 份于 2001 年种植。秋季收获时,我们将其后代按行混脱为 290 个株系,做 TBA 试验。其中每个群体抽取的 10 粒种子的油渍颜色均为 1、2 级的材料为 235 份,占群体总数的 81.03%,若去除大粒种区,则其百分比为 83.63%。这个结果说明,我们对高低亚麻酸材料杂交后代,进行 5 代选择后,其低亚麻酸基因已基本稳定。(见图 3-2-1-1)

### 3.2.1.2 各组合内其后代群体与其亲本的 TBA 测定结果比较分析

表 3-2-1-2 杂交世代各组合后代群体与亲本 TBA 测定结果比较表

亲本组合	样本数	母本 TBA 结果	父本 TBA 结果	后代群体 TBA 结果平均数
E1747×内亚三号	28	0	1	0.03
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	8	0	1	0.04
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	15	0	1	0.01
E1747×96-BJ-16	20	0	1	0.02
E1747×96-BJ-20	42	0	1	0.02
E1747×96-BJ-38	7	0	1	0.03
96-F <sub>1</sub> -75×E1747	2	1	0	0.05
296-P-2×E1747	2	1	0	0
96-p-III-4×E1747	17	1	0	0.08
92-S14-5×E1747	18	1	0	0.01
BJ-1-470×E1747	13	1	0	0.02
E1747×96-P-III-4	14	0	1	0.02
E1747×H624	8	0	1	0
96-P-3×E1747	22	1	0	0.01
内亚三号×E1747	7	1	0	0.04
E1747	26	0	0	0.02
E1747×喀什 143	32	0	1	0.03

在杂交世代中，我们共选择保留了 16 个亲本组合。经过连续 5 代的选择后，其后代群体中低亚麻酸植株所占比例均超过 50% 详细见表 3-2-1-2 后代群体与低亚麻酸亲本在亚麻酸含量上无显著差异，而与高亚麻酸亲本差异极显著。

### 3.2.1.3 特例分析

#### 3.2.1.3.1 E1747 后代自繁区

在杂交世代中，我们保留了一个 E1747 的后代自繁区。其主要目的有两个：第一，以其为对照区。第二，对其进行驯化。E1747 最初从加拿大带回中国时，其种子粒小，含油率低，不符合我们的种植要求，经过我们的选择后，其千粒重和含油率均有了不同的提高，详细分析见后。

但从此次 TBA 试验结果中，我们可以看到有些油渍颜色为红色，即其等级为 3 或 4。这可能有两方面的原因：第一，发生了种子混杂；第二，E1747 发过了一定的天然杂交或 E1747 发生了性状分离。具体结果还需进一步分析。

#### 3.2.1.3.2 大粒种区

大粒种区是我们每年做 TBA 试验时所选择的 TBA 结果为 3、4 级，但种子粒大饱满的材料种植的。但在这个区内也出现了几个低亚麻酸材料，下面来一一说明。

LH5—283：LH5—283 是在 1999 年入选到高亚麻酸组合后代大粒种自繁区，但在 2000 年对其后代群体做 TBA 单株测定时，发现了这株低亚麻酸材料，将其保留，在 2001 年种植。秋季混合为群体后，其 TBA 结果仍表现低亚麻酸性状，证明这个群体是稳定的。同时，这也说明，在高亚麻酸杂交后代群体中也可选择到低亚麻酸材料。

LH5—284 和 LH5—291：LH5—284 和 LH5—291 是 2001 年转变为低亚麻酸材料的。其稳定性还要进一步检验。在 LH5—284 的 10 个 TBA 油渍中，有一个为 4 级，这有可能是发生了种子混杂，也有可能是 LH5—284 这个群体的基因发生了分离。具体是天然杂交或自然突变或是否有自然突变，有待试验证明。

## 3.2.2 回交世代 (即系统 DF4 编号)

## 3.2.2.1 回交世代三年 (1999 年至 2001 年) TBA 结果分析

表 3-2-2-1 回交世代三代印迹法 (TBA) 试验结果统计表

	1999 年	2000 年	2001 年
供试材料数	205	652	178
TBA 结果为 1、2 级材料数	120	298	74
所占百分比	58.54%	45.71%	41.57%

由表 3-2-2-1, 1999 年, 我们对回交世代的 24 份材料的 205 个单株进行了测定, 选择了 120 份材料种植。2000 年, 我们对 652 个单株进行了测定, 选择了 298 份材料, 其中 178 份材料让其自交稳定, 其余自繁。我们今年所选择测定的群体即是自交稳定的群体。其中有 74 份材料达到了 1、2 级, 所占百分率为 41.57%。(见总体频数分布图)

## 3.2.2.2 各组合内后代群体与亲本的 TBA 结果分析

表 3-2-2-2 回交世代各组合后代群体与亲本 TBA 测定结果比较表

母本	父本	样本数	低油亲本 TBA 值	低油亲本 TBA 值	群体 TBA 平均值
内亚三号×E1747	内亚三号	1	0	1	1
BJ-I-40×E1747	BJ-I-40	2	0	1	1
96-P-I-6	CE-11	1	0	1	0
E1747×BJ-40	BJ-I-40	13	0	1	0.95
内亚三号×E1747	内亚三号	4	0	1	1
95-I-2	93-II-5	5	0	1	1
96-P-3×E1747	96-P-III-3	5	0	1	0.24
96-P-III-1×E1747	CE-11	14	0	1	0.09
96-F <sub>1</sub> -75×E1747	96-F <sub>1</sub> -75	6	0	1	0.53
96-P-I-8	CE-11	1	0	1	0
96-P-I-8×F <sub>1</sub> -77	CE-11	11	0	1	0.13
96-F <sub>1</sub> -77×F <sub>1</sub> -106	CE-10	6	0	1	0.17
96-P-I-8×F <sub>1</sub> -77	CE-11	3	0	1	0.6
96-F <sub>1</sub> -77×F <sub>1</sub> -106	CE-10	27	0	1	0.52

回交区内, 我们共选择保留了 14 个亲本组合。经连续回交 3 代, 再稳定 1 代, 其后代群体中低亚麻酸植株所占比例在 50%左右 (见表

3-2-2-2)。结果显示,有6个群体后代的TBA结果趋向于低油亲本,而有6个群体后代的TBA结果趋向于与高油亲本。说明后代群体趋向于低亚麻酸亲本。另有两个组合的后代群体的亚麻酸含量处于两亲本之间。

### 3.2.2.3 特例分析

由各组合的频数分布图中,我们可以看出有几个组合中没有出现低亚麻酸材料,如第1、2、5、6组合。这四个群体保留下来的主要目的是保留组合,同时我们也希望其后代经几代自交稳定后,会出现低亚麻酸材料。

第15组合是我们做TBA测定时选择的低亚麻酸材料,但由于其单株上未做进一步杂交,故将其保留为低油区。以过一代自交稳定后,其低亚麻酸后代占到总数的76.47%,我们很希望从这个群体中获得大量的低亚麻酸个体。

第16组合是大粒种区,即TBA结果为3、4级,但种籽粒大的材料。从频率分布图上可以看出,这个组合中出现了一定数量的1、2级油渍,说明在这个群体中可以获得低亚麻酸材料。

### 3.2.3 杂交世代与回交世代TBA法试验结果比较

从频率分布图上可以看出,杂交世代中的低亚麻酸材料要远远多于回交世代中的低亚麻酸材料。这里面可能有如下两个原因:第一,胡麻是自花授粉作物,回交世代中连续对其回交,而没有让其自交稳定,因而其性状还未表现分离;第二,轮回亲本中的高亚麻酸材料倾向于高亚麻酸含量。但我们相信,经过几代自交稳定后,我们在回交世代可获得大量低亚麻酸群体。

## 3.3 千粒重与含油率结果分析

### 3.3.1 千粒重结果分析

#### 3.3.1.1 杂交5代(即LH5)千粒重结果分析

2001年秋季,我们对杂交5代的290个群体进行了千粒重测定。从次数分布图上我们可以看出,多数材料的千粒重在6.01-7.00克范围内,其次为5.01-6.00克范围内,而4.01-5.00和7.01-8.00克范围仅有少量材料。从整体上讲,杂交5代千粒重的变异幅度在4.51-7.84克之间,平均

值为 6.13 克,若除去大粒种区 E1747 自繁区后,其变异幅度在 4.62-7.84 克,平均值为 6.19 克。

从以上结果可以看出,杂交代后代千粒重的平均值显著高于原始 E1747(4.13 克)。

从各组合内的情况来看,后代群体的千粒重均显著高于原始 E1747 (4.13 克),接近或略高于高亚麻酸亲本(见表 3-3-1-1)。特别是在 E1747 自繁区中,后代群体的平均千粒重已达 5.28 克,显著高于刚引入时的千粒重 4.13 克。表明,我们对 E1747 的驯化选择已有了一定的效果。但在所保留下来的 18 个组合中,它的千粒重是最低的,说明我们还需对这个区进行进一步的选择。与之相反,在千粒重最高的大粒种区内,高亚麻酸材料的千粒重均高于 7 克,低亚麻酸材料还未达到 7 克,因而我们将对这个区继续进行选择保留,希望可以获得千粒重高的低亚麻酸材料。

表 3-3-1-1 杂交世代各组合后代群体与亲本千粒重测定结果比较表

亲本组合	样本数	母本千粒重结果	父本千粒重结果	后代群体千粒重 结果平均数
E1747×内亚三号	28	4.13	16.7017	6.41
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	8	4.13	5.956	6.57
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	15	4.13	5.956	6.18
E1747×96-BJ-16	20	4.13	5.855	5.66
E1747×96-BJ-20	42	4.13	6.416	6.11
E1747×96-BJ-38	7	4.13	6.977	6.10
96-F <sub>1</sub> -75×E1747	2	5.67	4.13	5.67
96-P-2×E1747	2	6.232	4.13	6.21
96-p-III-4×E1747	17	6.368	4.13	6.47
92-S-5×E1747	18	6.401	4.13	6.26
BJ-I-40×E1747	13	6.697	4.13	6.23
E1747×96-P-III-4	14	4.13	6.368	6.67
E1747×H624	8	4.13	5.8453	6.08
96-P-3×E1747	22	5.95	4.13	6.31
内亚三号×E1747	7	6.7017	4.13	5.85
E1747	26	4.13	4.13	5.28

E1747×喀什 143

32

4.13

7.7723

6.04

### 3.3.1.2 回交 4 代 (即 DF4) 千粒重结果分析

从次数分布图上我们可以看出,回交世代的千粒重主要集中在 5.01-6.00 克范围内,其次为 6.01-7.00 克范围,少量分布在 7.01-8.00 克, 4.01-5.00 克以及 8.01-9.00 克范围。整体上讲,回交 4 代千粒重的变异幅度在 4.19-4.38 之间,平均值为 5.81 克,若去除大粒种区和低亚麻酸材料自交区后,其变异幅度为 4.19-7.52 克。平均值为 5.59 克。

从以上结果可以看出,杂交后代的千粒重平均值显著高于原始 E1747 (4.13 克)、CE-10 (3.959 克) 和 CE-11 (4.750 克)。

从各组合内的情况来看,后代群体的千粒重均显著高于原始 E1747、CE-10 和 CE-11。而且以 CE-10 和 CE-11 为轮回亲本的群体平均值均低于以高亚麻酸材料为轮回亲本的群体。低亚麻酸材料自繁区的千粒重平均值为 5.55 克,处于居中位置,从次数分布图上来看,该组合内群体千粒重主要集中在 5.01-6.00 克之间。大粒种区的千粒重平均值为 7.06 克,位于回交世代 16 个组合之首。而且其后代群体千粒重主要集中在 6.01-7.00 克和 7.01-8.00 克范围内,在这个组合内还出现 8.38 克的最高者。因而,我们需要对这个区进行进一步的选择保留,以获得千粒重大而亚麻酸含量低的胡麻材料。

### 3.3.1.3 杂交世代与回交世代千粒重比较分析

从频率分布图上来看,杂交世代的后代群体千粒重主要集中在 6.01-7.00 克范围内,回交世代后代群体千粒重主要集中在 5.01-6.00 克范围内,杂交世代的千粒重平均值 (6.13 克) 高于回交世代的千粒重平均值 (5.81 克)。并且杂交世代后代群体千粒重的变异幅度小于回交世代后代群体千粒重的变异幅度,它们的变异系数 CV 分别为: 16.97 和 17.70。因此,从目前来看,以千粒重为选择指标,杂交世代优于回交世代。

从千粒重角度讲,回交世代不如杂交世代可能有如下几个原因:第一,回交世代连续回交而无自交稳定世代,因而其性状还未发生稳定分离;第二,回交世代亲本千粒重低于杂交世代亲本千粒重,但回交世代要优于杂交世代。回交世代后代群体千粒重最低为 4.19 克,而最高值为 8.38 克。这为我们的选择提供了广泛的基础材料。

### 3.3.2 含油率结果分析

#### 3.3.2.1 杂交5代(即LH5)含油率结果分析

我们对杂交5代的290份材料进行含油率测定后,发现其后代群体含油率主要集中在38.01%-40.00%之间。从整体上讲,杂交代5代含油率的变异幅度比较大,在34.28%-42.20%之间,总体平均值为39.03%。

从以上结果可以看出,杂交世代的后代群体平均含油率高于刚引进的原始亲本E1747(34.818%)。

从各组合内部来看,各组合内群体平均值显著高于原始亲本E1747(34.818%)。高于或接近F1未分离世代(见表3-3-2-1)。在E1747的自繁区内,它的变异幅度为38.33%-41.34%,平均值为39.66%,显著高于刚引入的E1747的含油率(34.818%)。表明,在含油率方面,E1747经过一定时期的驯化选择已有显著提高。而大粒种区的含油率平均值为38.58%,但它的变异幅度较大为36.67%-41.36%。

表 3-3-2-1 杂交世代各组合后代群体与亲本含油率测定结果比较

亲本组合	样本数	F1 含油率结果	后代群体含油率结果平均数
E1747×内亚三号	28	31.985	38.59
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	8	33.563	39.62
E1747×96-F <sub>1</sub> -73	15	39.261	37.89
E1747×96-BJ-16	20	35.707	38.93
E1747×96-BJ-20	42	33.757	39.98
E1747×96-BJ-38	7	34.732	38.50
96-F <sub>1</sub> -75×E1747	2	36.310	37.98
96-P-2×E1747	2	36.837	38.16
96-p-III-4×E1747	17	35.511	39.96
92-S-5×E1747	18	37.074	38.97
BJ-I-40×E1747	13	39.676	39.47
E1747×96-P-III-4	14	34.953	39.45
E1747×H624	8	36.493	39.87
96-P-3×E1747	22	35.276	38.27
内亚三号×E1747	7	35.716	36.81
E1747	26	34.818	39.66

E1747×喀什 143

32

37.537

38.42

### 3.3.2.2 回交 4 代（即 DF4 代）含油率结果分析

2001 年秋季,我们对回交 4 代的 178 个后代群体进行了含油率的测定,从次数分布图上我们可以看出,多数材料的含油率集中分布在 37.01%-41.00% 范围内。从整体上看,回交 4 代的含油率变异范围在 35.40%-42.83% 之间,总体平均值为 38.88%,高于原始 E1747 (34.818%)。从各组合内部来看,每个组合含油率的平均值均高于原始 E1747 (34.818%),CE-10 (36.27%) 和 CE-11 (37.64%)。接近或略高于 F1 未分离世代(附表)。低亚麻酸材料的自交区和大粒种区的平均值为 38.22% 和 38.37%,低于总体平均值水平。

### 3.3.2.3 杂交世代与回交世代含油率比较分析

从次数分布图上看,杂交世代群体含油率主要集中在 38.01%-40.00% 之间,回交世代群体含油率主要集中在 37.01%-41.00% 之间,杂交世代的含油率平均值高于回交世代的含油率平均值。便从变异角度讲,回交世代的含油率在各区段分布较均匀,变异系数 C.V.=7.4,低于杂交世代,变异系数 C.V.=12.48。

### 3.3.3 千粒重与含油率结果比较分析

#### 3.3.3.1 杂交代 5 代千粒重与含油率之间关系

从理论上讲,胡麻千粒重越大,含油率越高。我们对杂交代 5 代 290 份后代群体的千粒重与含油率作了相关分析,相关系数  $r=-0.00199$ ,经显著性检验为二者不相关。其主要原因是千粒重受籽饱满度影响较大;也可能是我们所测的千粒重和含油率的值比较低,未达到最高值,故而在一定范围内,千粒重与含油率之间不呈相关关系。有必要进行合理试验设计,进一步研究。

#### 3.3.3.2 回交 4 代千粒重与含油之间的关系

我们对回交 4 代的 178 份后代群体的千粒重与含油率做了相关分析,相关系数  $r=-0.07171$ ,相关显著性检验为不显著,可能原因同 3.3.3.1。

### 3.4 TBA 结果与千粒重和含油率之间的关系

我们对 290 份杂交 5 代群体和 178 份回交 4 代群体的 TBA 结果与千粒重和含油率分别做相关分析, 结果见表 3-4

表 3-4 TBA 结果与千粒重和含油率的相关分析表

	千粒重	含油率
杂交 5 代群体 TBA 结果	0.23816**	0.015636
回交 4 代群体 TBA 结果	0.651748**	0.031009

从表 3-4, 我们可以看出, TBA 结果与千粒重呈极显著的正相关, 也即亚麻酸含量越高, 千粒重越大。而 TBA 结果与含油率不具有相关性。

## 4 讨论

### 4.1 亚麻酸与亚油酸以及其它脂肪酸含量变化的关系

本试验, 依据气相色谱仪分析结果认为, 亚麻酸含量与亚油酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.98^{**}$ , 与油酸含量呈极显著的正相关关系, 相关系数  $r=0.63^{**}$ , 与软脂肪酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.33^{**}$ , 与硬脂酸含量无明显的相关关系, 相关系数  $r=0.07$ 。亚油酸含量与油酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.77^{**}$ , 与软脂酸含量呈极显著的正相关关系, 相关系数  $r=0.35^{**}$ , 与硬脂酸含量无明显的相关关系, 相关系数  $r=-0.15$ 。油酸含量与软脂酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.36^{**}$ , 与硬脂酸含量呈显著的正相关关系, 相关系数  $r=0.20^{*}$ 。硬脂酸含量与软脂酸含量无明显的相关关系相关系数  $r=-0.16$ 。

加拿大学者 G.G.Rowland 博士对胡麻杂交 2 代群体进行了亚麻酸含量与亚油酸含量之间的相关性分析, 结果表明, 亚麻酸含量与亚油酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.95^{**[5]}$ 。这与我们的试验结果相吻合, 证明我们的结果是正确的。

与其它油料作物相比, 马淑英等人通过对大豆籽粒的研究指出, 亚麻酸含量与油酸含量及亚油酸含量呈极显著的负相关关系, 相关系数  $r=-0.85^{**}$ 和  $r=-0.81^{**}$ , 亚油酸与棕榈酸及硬脂酸呈极显著的负相关关系,

相关系数  $r=-0.85^{**}$  和  $r=-0.80^{**}$ <sup>[30]</sup>。裴东红总结国内外学者的研究结果表明,大豆籽粒中亚麻酸含量与亚油酸含量呈显著或极显著的正相关,与油酸含量呈显著或极显著的负相关关系<sup>[15]</sup>。这个结果恰好与我们的试验结果相反。在油菜育种上,傅寿仲等人的研究结果表明,亚麻酸含量与亚油酸含量和油酸含量呈显著或极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.2045^{*}$  和  $r=-0.4276^{**}$ ,亚油酸含量与油酸含量呈极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.5276^{**}$ <sup>[9]</sup>。这个结果与我们所得结果也不完全相符,原因可能是作物种性不同或作物生境不同的结果,至于其详细的机理还有待于进一步研究。

#### 4.2 胡麻各脂肪酸比例含量与环境关系的讨论

从杂种世代中引进低亚麻酸性状,以及各亲本亚麻酸含量的一致情况看,各脂肪酸含量及比例也受到环境因素的影响。G.G.Rowland 认为白天温度高,夜晚温度低,即昼夜温差大,有利于胡麻种子中亚油酸的合成。也有报道说,大豆在结荚至成熟期间的积温升高会使大豆籽粒中亚麻酸含量下降,纬度升高,海拔升高和播种期的延迟会增加亚麻酸含量。亚麻酸的相对含量与发育天数间呈极显著的正相关关系,相关系数  $r=0.91^{**}$ 。由于生态因素可能产生突变或不可遗传的变异型。过去只是未对大群体作过逐株个体脂肪酸含量检测,所以不被人知。从这次工作中看,也可以从大量群体材料中,找到低亚麻酸的突变体,这也证明 G.G.Rowland 博士用 EMS 诱变 McGregsr 品种较易成功的原因。

#### 4.3 杂交选育效果和回交选育效果的比较

从 2001 年秋季,我们所做的试验结果上来看,杂交世代的三项指标结果优于回交世代的的结果,具体如下:

首先是 TBA 试验结果,在 290 个杂交后代中所获的纯合低亚麻酸材料达 235 份,占群体总数的 81.03%,而在 178 个回交后代中,纯合低亚麻酸材料只有 74 份,占群体总数的 41.57%。

其次从千粒重结果来看。杂交后代群体千粒重结果主要集中在 6.01-7.00 克之间,而回交后代千粒重结果主要集中在 5.01-6.00 克之间。

最后,从含油结果来看,杂交后代群体含油率结果主要分布在 38.01-40.00% 范围内,而回交世代则集中在 37.01-41.00% 范围内。

从以上三项指标的统计结果来看,回交世代的各项指标结果均低于杂交世代三项指标的结果。但是千粒重和含油率的最高值和最低值均出现在回交后代群体中,而且回交后代群体的千粒重和含油率的变异幅度比较大,说明回交后代群体的遗传基础广泛。因而,回交后代群体经几代自交稳定后,可获得大量的变异材料,其中也可能获得具有低亚麻酸性状而且千粒重和含油率都比较高的材料。

综上所述,如只为满足当前生产需要而推广低亚麻酸品种,则宜选用杂交选育方式。若既要获得低亚麻酸材料,又想获得大量遗传变异材料,则宜选用回交转育方式。

## 5 结论

(1) 通过本项工作证明在转育低亚麻酸性状的同时,注意对千粒重和含油率的选择,从而获得符合生产需要的又具有低亚麻酸性状的优良品系是会成功的。

(2) 利用有性杂交组合方式,从 E1747 中引进低亚麻酸性状是可以选到真实遗传的稳定株系。通过 TBA 法连续选择 5 代后,可以从中获得亚麻酸含量低于 5% 的单株系占总体的 81.03%。

在选用高亚麻酸材料作轮回亲本连续回交 4 代中,可获得亚麻酸含量低于 5% 的单株系占总体的 41.57%。

(3) 通过对胡麻油中各脂肪酸含量与其它性状在选择中的相关关系的测定,可以利用低亚麻酸含量单一性状测定,而预知其它脂肪酸可能产生的变异,去指导进行脂肪酸品质育种工作。

① 亚麻酸含量与亚油酸含量呈极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.98^{**}$ ,与油酸含量呈极显著的正相关关系,相关系数  $r=0.63^{**}$ ,与软脂酸含量呈极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.33^{**}$ ,与硬脂酸含量无明显的相关关系,相关系数  $r=0.07$ 。亚油酸含量与油酸含量呈极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.77^{**}$ ,与软脂酸含量呈极显著的正相关关系,相关系数  $r=0.35^{**}$ ,与硬脂酸含量无明显的相关关系,相关系数  $r=-0.15$ 。油酸含量与软脂酸含量呈极显著的负相关关系,相关系数  $r=-0.36^{**}$ ,与硬脂酸含量呈显著的正相关关系,相关系数  $r=0.20^{*}$ 。硬脂酸含量与软脂酸含量无明显的相关关系相关系数  $r=-0.16$ 。

② 亚麻酸含量与千粒重呈极显著的正相关关系相关系数  $r=0.34^{**}$ 。

③ 亚麻酸含量与含油率无明显的相关关系相关系数  $r=-0.054$ 。

(4) 通过大量工作表明引进和利用 TBA 法检测和筛选胡麻低亚麻酸含量株系是可靠的,可以在短时间内完成大量材料检测工作,符合育种对鉴定技术的要求。

## 致 谢

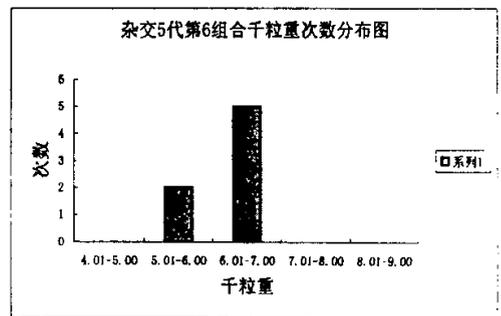
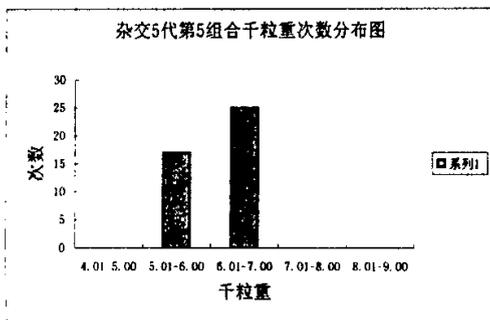
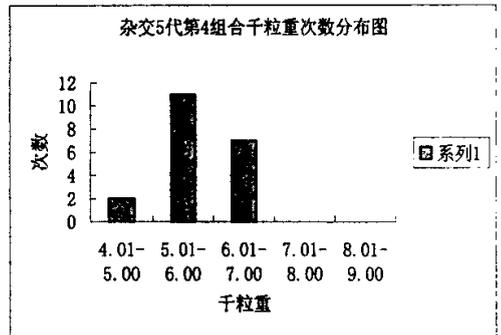
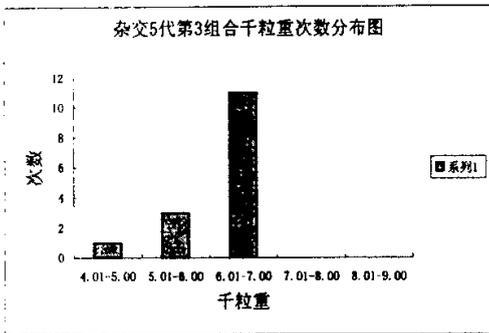
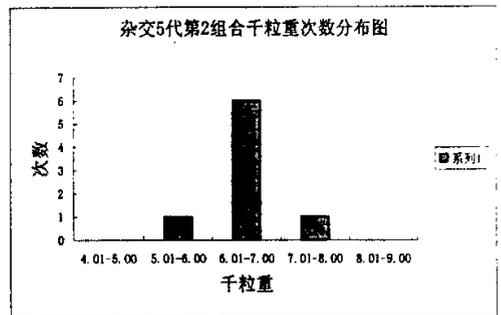
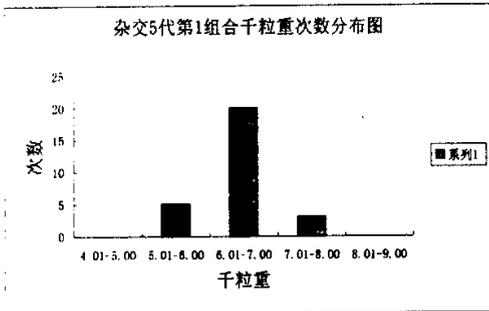
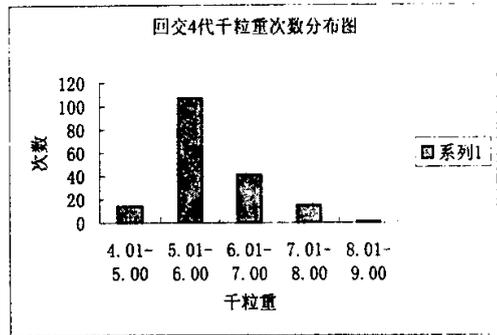
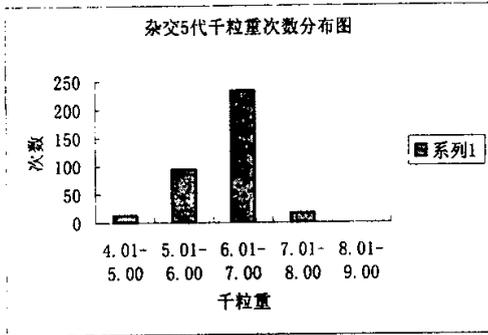
本文是在李心文教授的悉心指导下完成的。从论文的设计，试验过程到论文的撰写都倾注了导师大量的心血。在三年的生活和学习中，导师给予我无限的关怀和教诲，在此向恩师致以最崇高的敬意和衷心的感谢！同时在实验和论文的撰写过程中，得到了王树彦老师的指导，以及研究生白建明、姜伟、高文、徐军和杨成民同学的大力支持，向他们表示最诚挚的谢意！

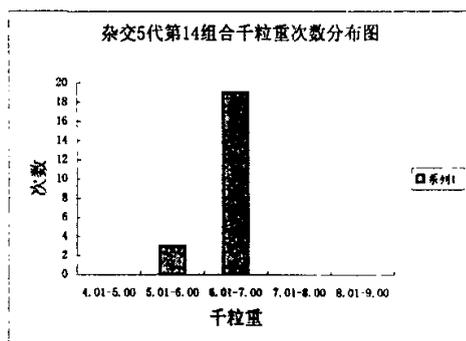
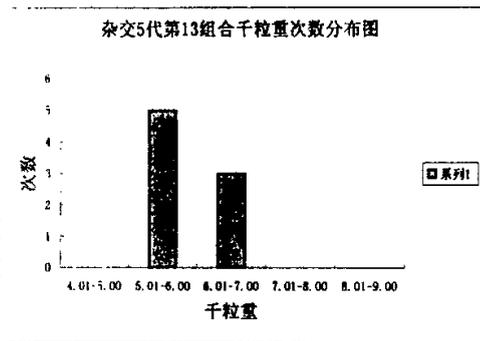
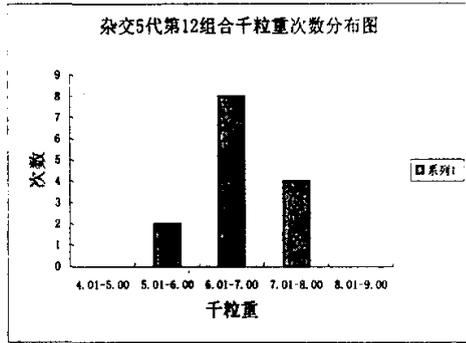
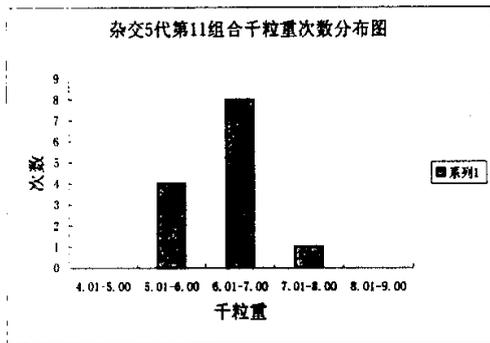
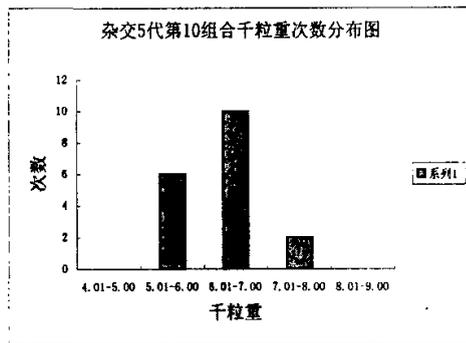
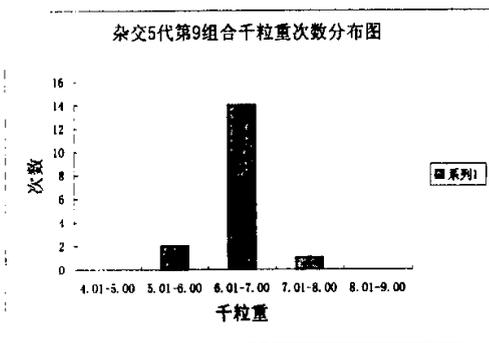
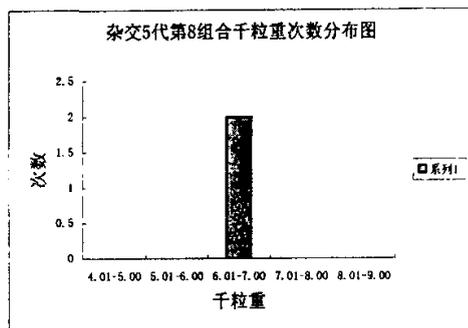
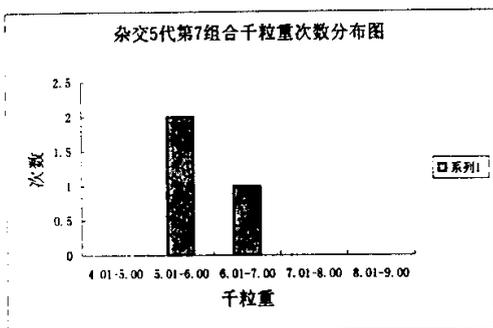
## 参 考 文 献

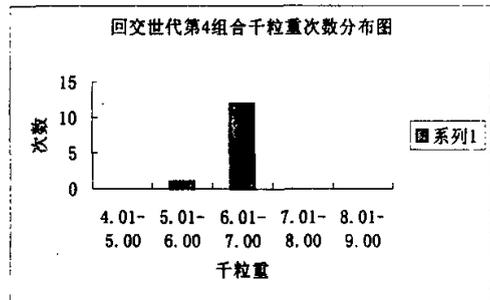
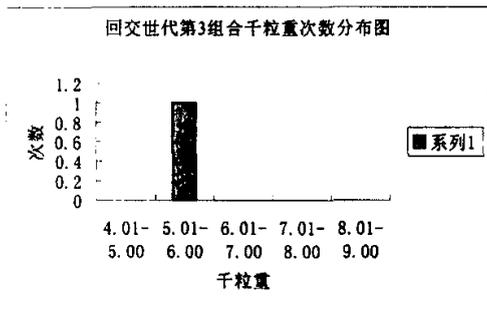
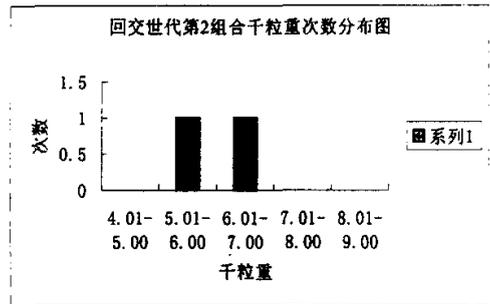
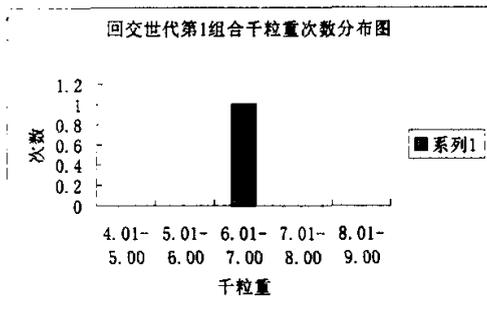
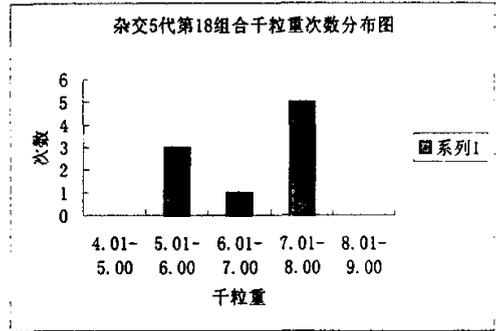
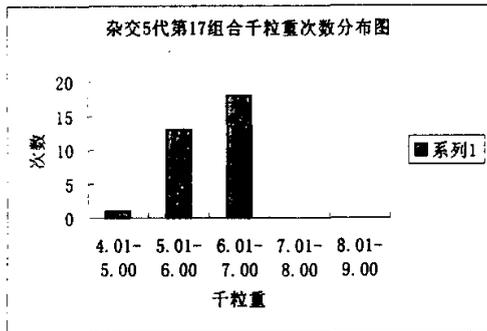
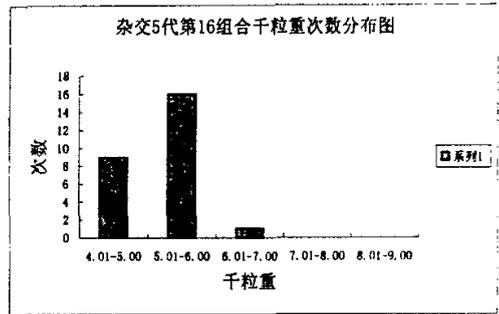
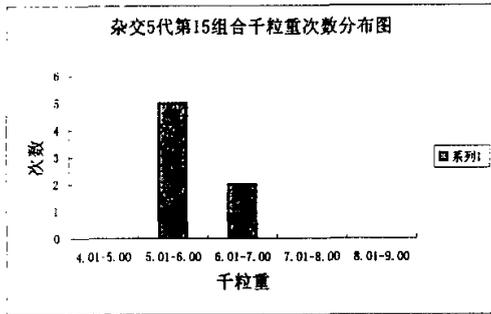
- 1 武跃通主编 亚麻高产栽培与综合利用技术 内蒙古教育出版社 1992 1-13
- 2 G.Robbelen 等主编 世界油料作物 孙万仓等译 兰州大学出版社 1991 510-515 523-531
- 3 陈鸿山 国内胡麻育种栽培技术的进展与成就 内蒙古农业科技 1994 5 9-12
- 4 李秉衡 胡麻选种与途径 中国农学通讯 1994 10 (5) 9-11
- 5 G.G.Rowland 著 甲基磺酸乙酯诱导 McGregor 亚麻品种的低亚麻酸突变体 郭世华译 内蒙古农牧学院院报 1997 增刊 90-93
- 6 金霞等 食用油脂与人体健康 生物学通报 2000 35(2) 13-15
- 7 A.H.恩斯明格等著 营养素 农业出版社 36-56
- 8 翟凤林等 作物品质育种 农业出版社 1991 36-56
- 9 傅寿仲等 甘蓝型油菜十八碳烯酸的进一步改良 江苏农业学报 1995 11(1) 16-17
- 10 余旭等 糙草籽油中脂肪酸研究 青海畜牧兽医杂志 1999 29(5) 16-17
- 11 朱宇旌等 多不饱和脂肪酸的特殊营养作用 畜禽业 1999 8 27-28
- 12 R.S.Bhatty and G.G.Rowland Measurement of Linolenic Acid in the Development of Edible Oil Flax,IAOCS,1990,67(6)364-367
- 13 G.G.Rowland 等著 甲基磺酸乙酯诱导的亚麻脂肪酸突变 王树彦译 内蒙古农牧学院院报 1997 增刊 87-89
- 14 张文雄等 螺旋藻中药用成分的综合开发与利用 天然产物研究与开发 1999 11 (4) 75
- 15 裴东红降低大豆子粒中亚麻酸含量的研究进展 大豆科学 1995 14(3) 255-259
- 16 刘玮等 亚麻子营养面包的研制 食品科技 2002 2 21
- 17 潘建国 目前美国保健食品主要流行品种及发展趋势(一) 食品科技 2002 2 1-3
- 18 葛海涛等  $\gamma$ -亚麻酸药理药效研究进展 中草药 1999 30 (7) 554-556
- 19 Cameron NE,et al.AmJ Phyciol,1996,271(3,pt1):E471
- 20 Vartak S,et al.Lipid,1997,32(3):283
- 21 Agostoni C,et al. Prostaglandins,Leukotrienes Essent Fatty Acids, 1995,53(6):401
- 22 Dorsch W,et al.Phytomedicine,1995,1(4):271
- 23 Holman,R.T.,and Rahm,J.J..Thiobarbituric Acid Reaction.,Zn R.T.Holman(ed.),Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids..Pergamon Press,Oxford1966 Vol.9 ,PP.18-20

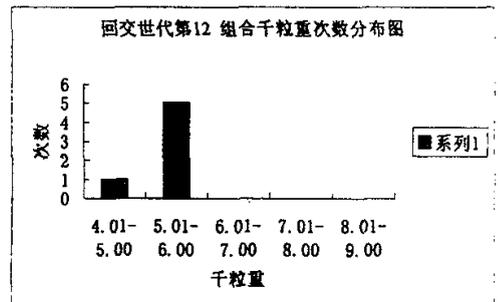
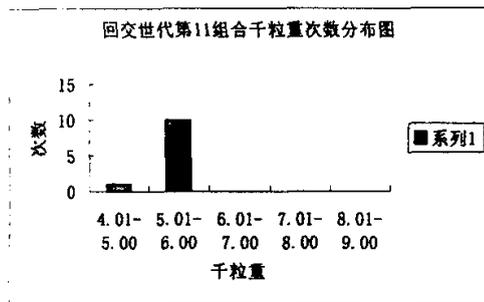
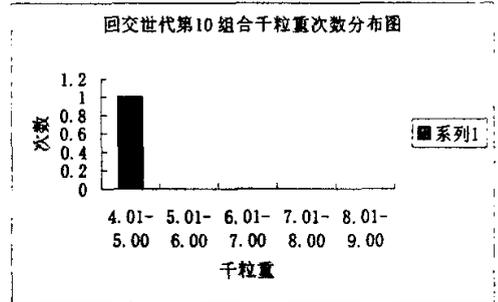
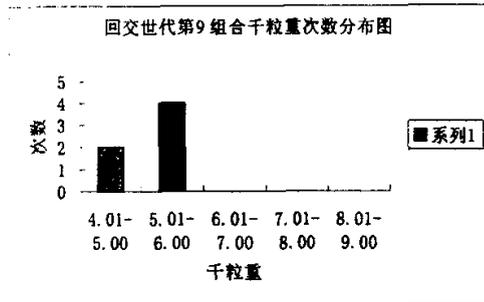
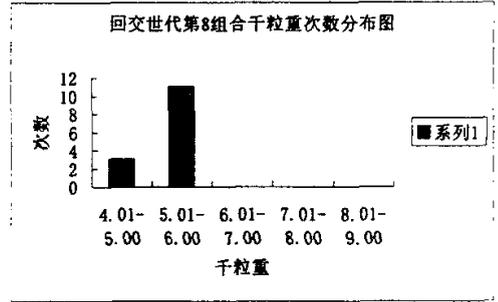
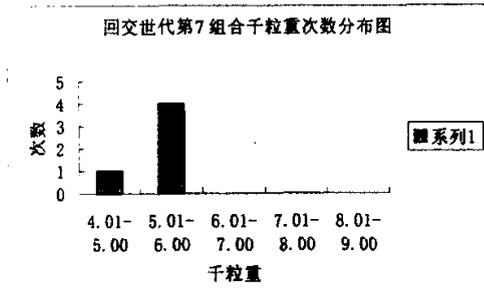
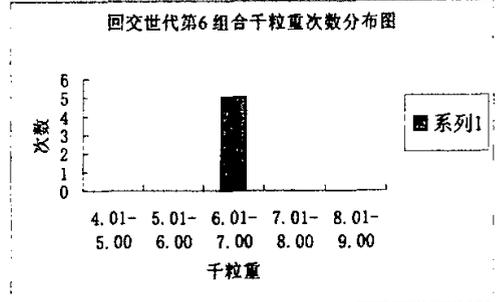
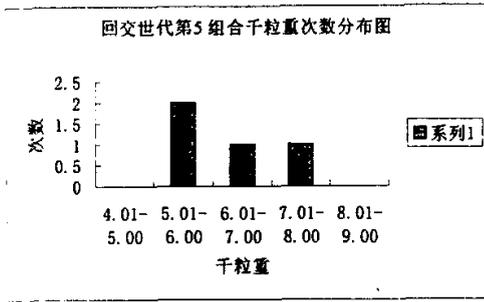
- 24 McGregor, p.i. A rapid and sensitive spot test for Linolenic acid Level in rapeseed. *Can, J, Plant Sci.* 1974, 54:211-213
- 25 黄梅丽等 食品化学 中国人民大学出版社 1986
- 26 王连铮等 大豆遗传育种学 科学出版社 1992
- 27 Mounts, T.L. et al., *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1988, 65, 624-628
- 28 Smouse, T.H. et al., *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1979, 56, 747-751
- 29 Stone, R. et al., *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1983, 60., 1277-1281
- 30 马淑英等 大豆子粒发育过程中脂肪酸的组分分析 大豆科学 1999 18(2) 124-129

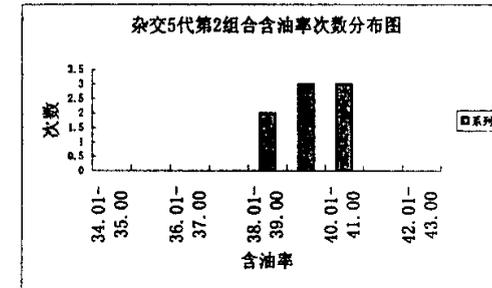
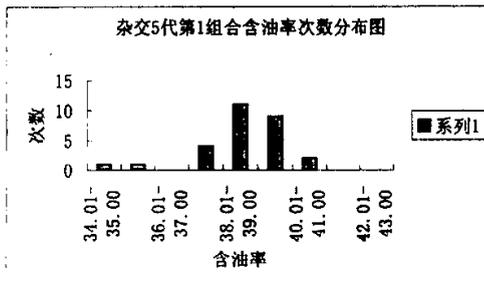
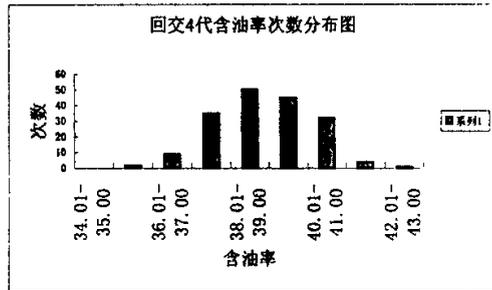
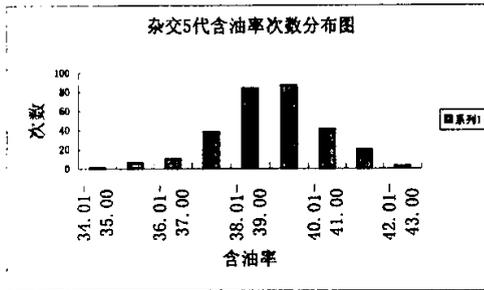
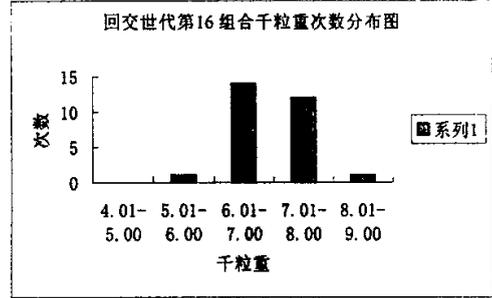
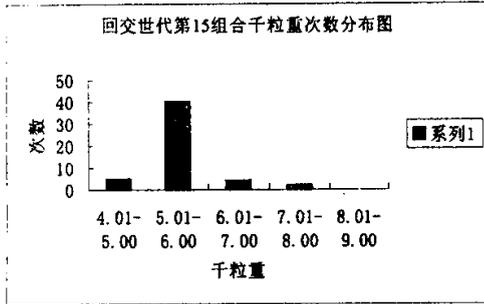
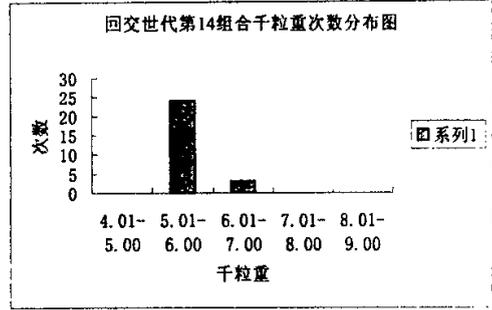
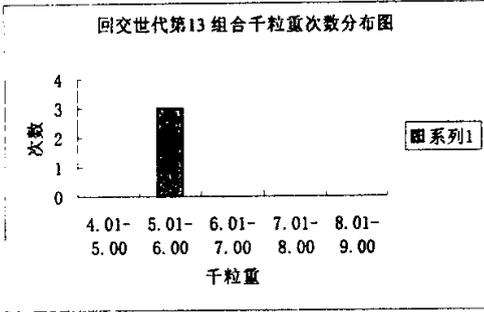
# 附图

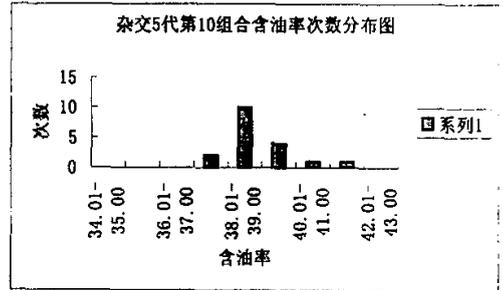
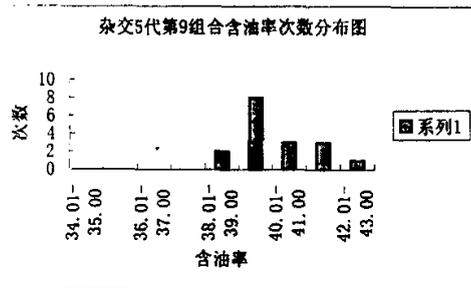
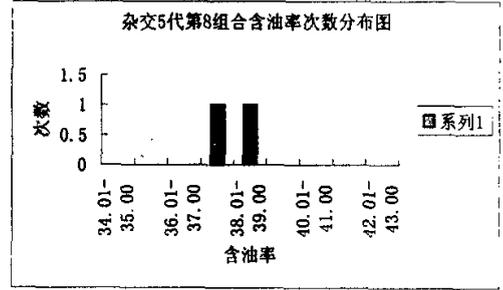
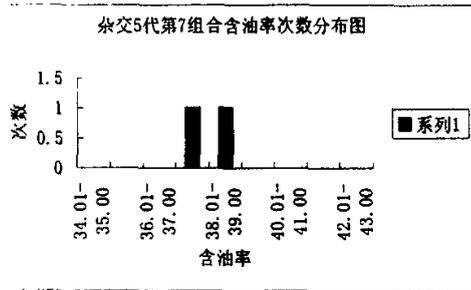
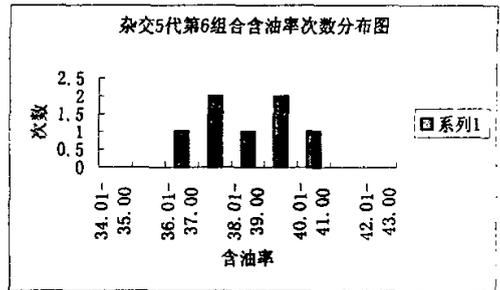
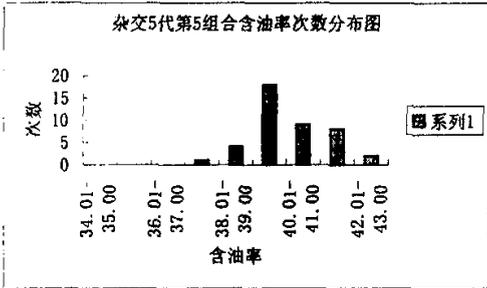
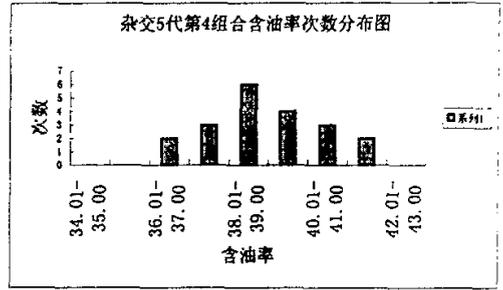
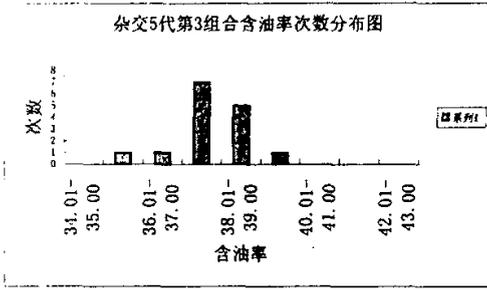


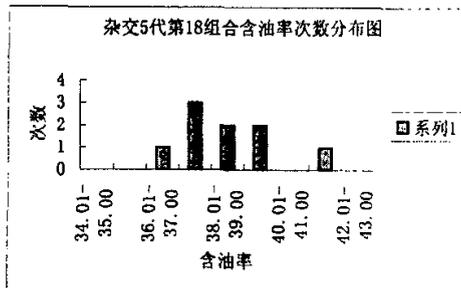
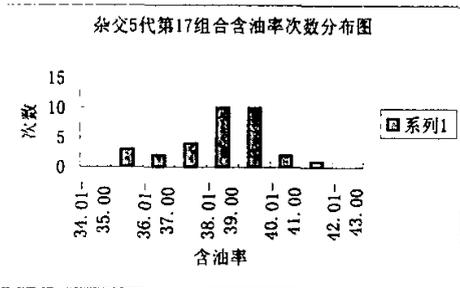
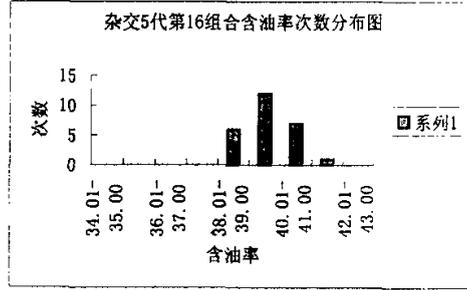
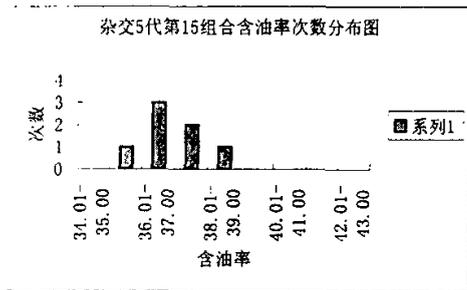
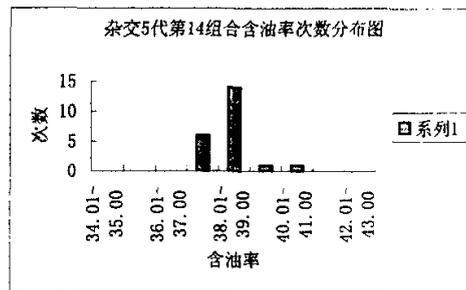
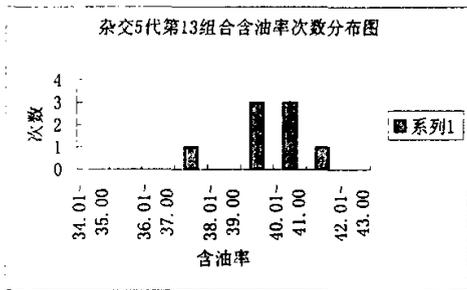
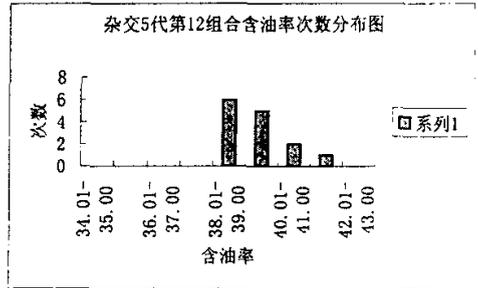
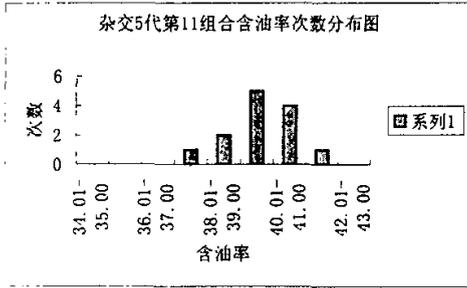


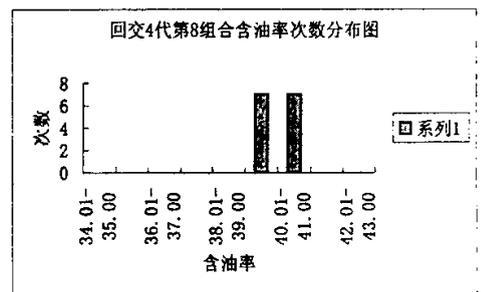
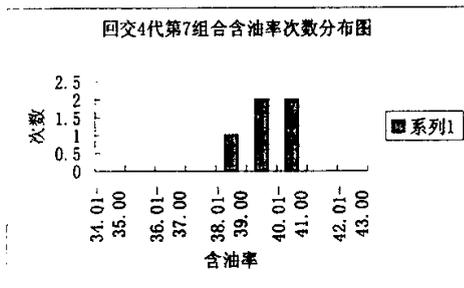
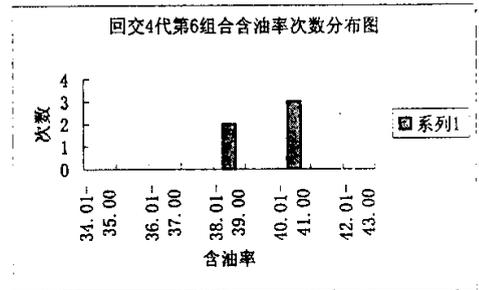
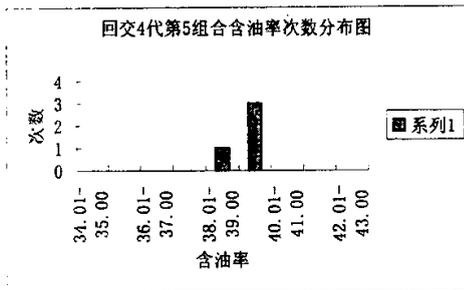
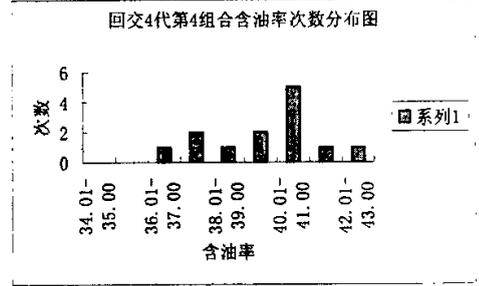
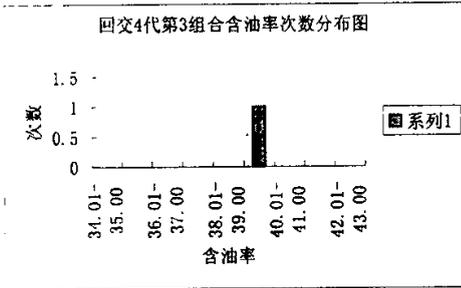
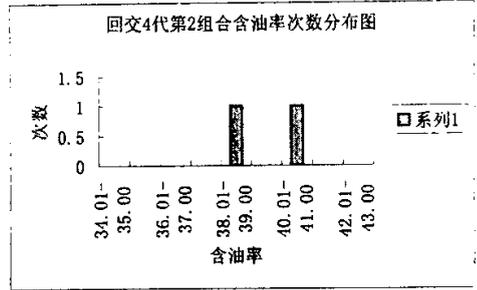
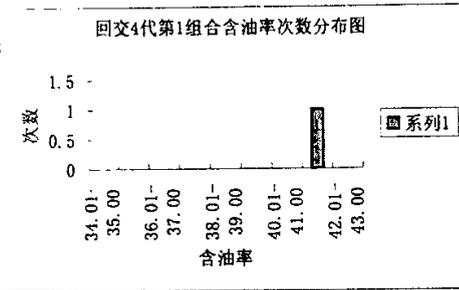


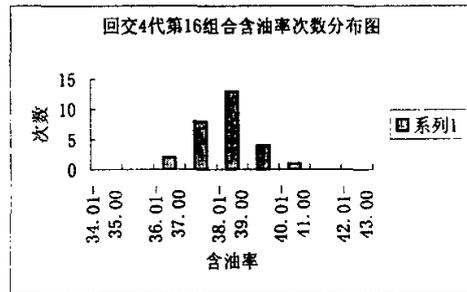
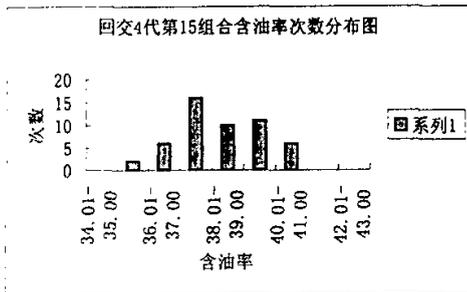
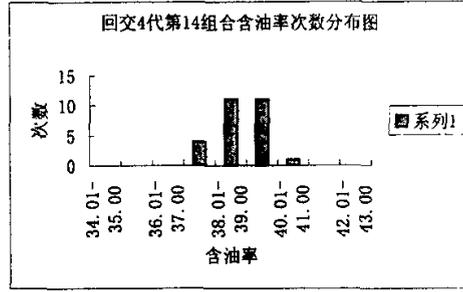
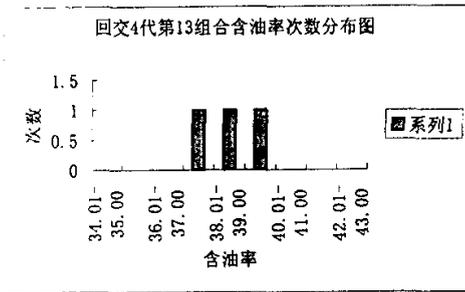
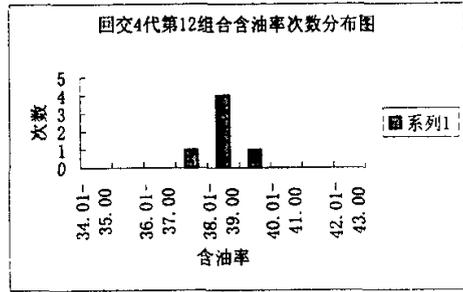
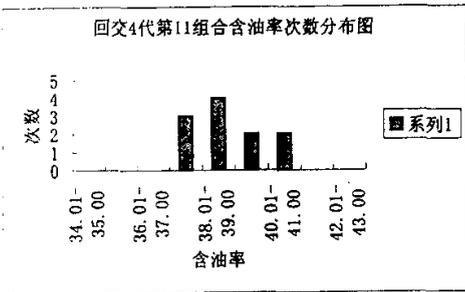
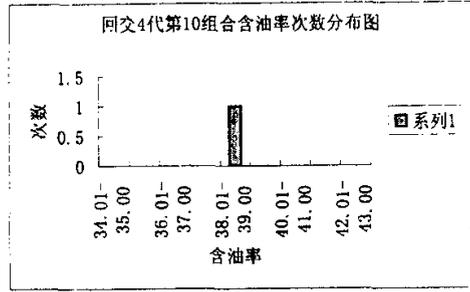
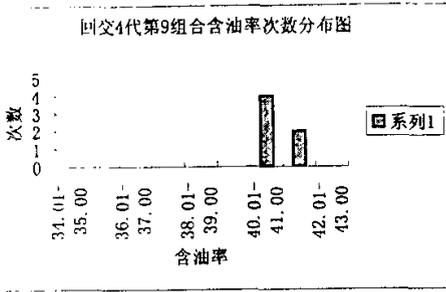


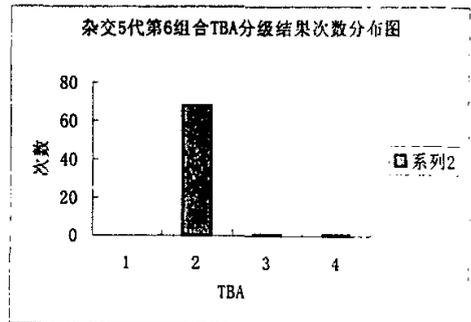
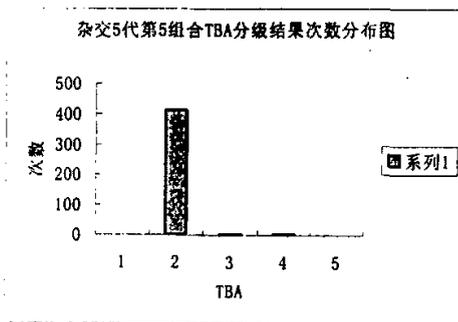
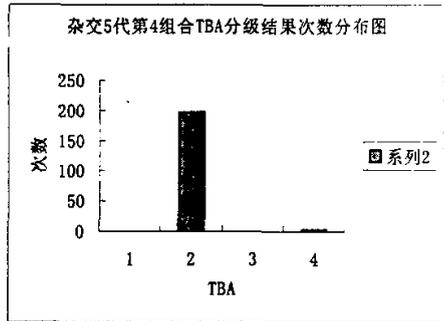
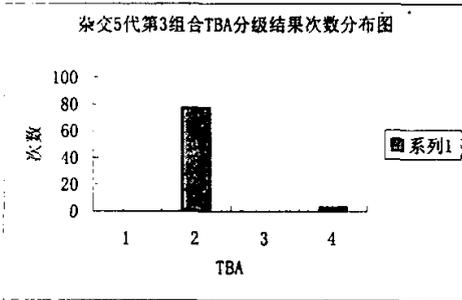
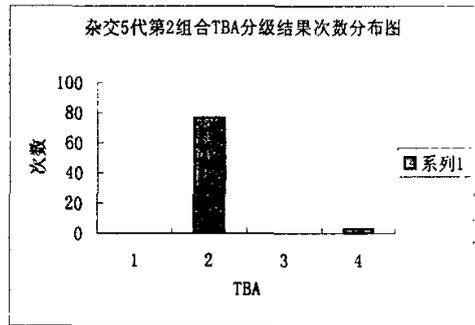
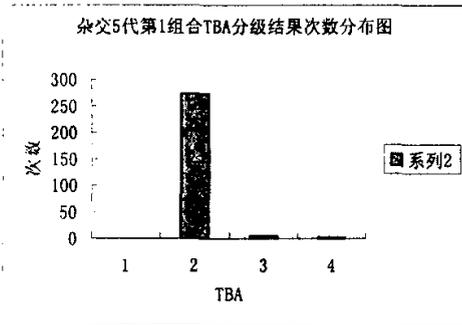
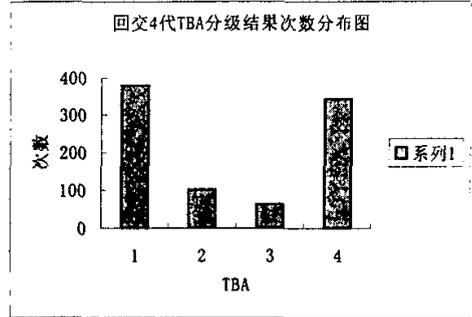
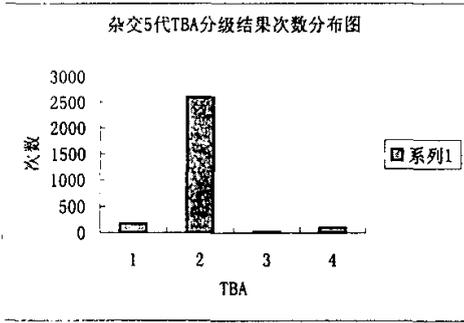


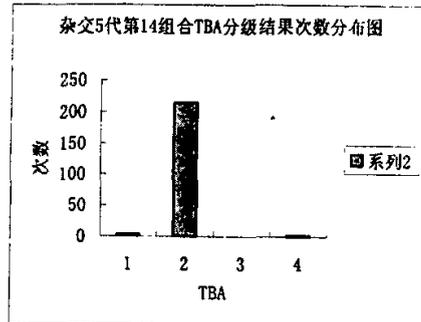
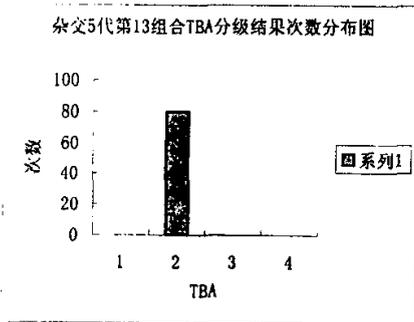
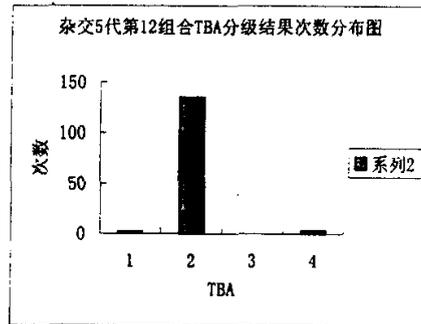
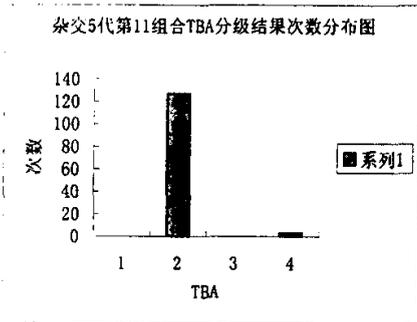
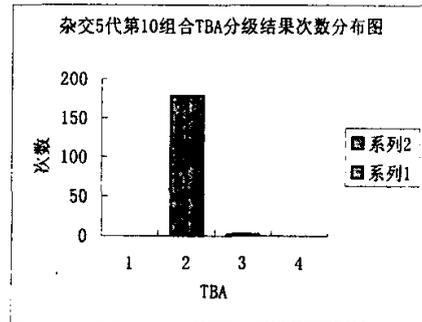
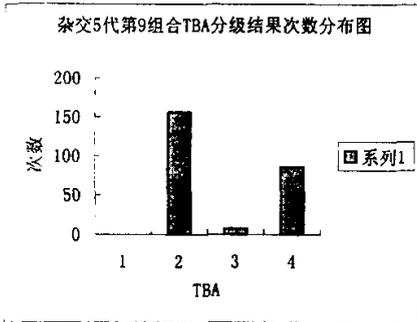
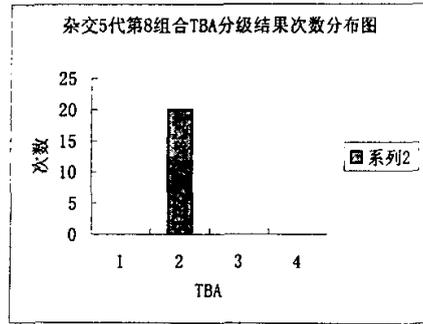
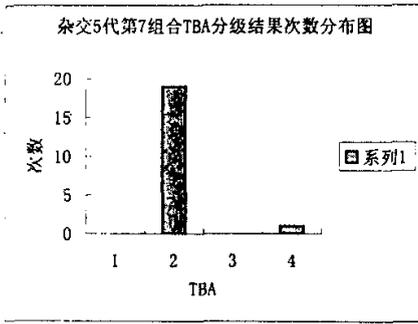


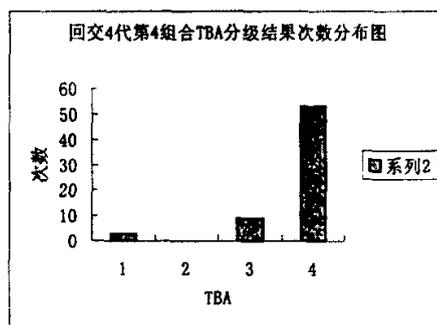
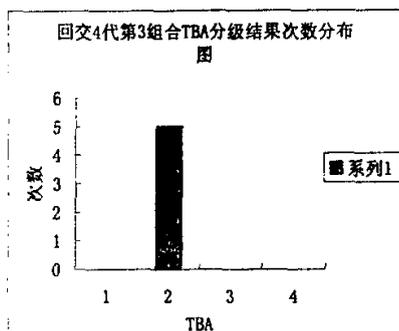
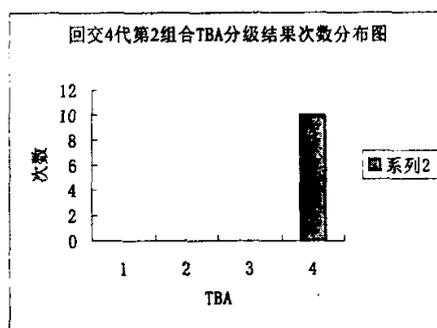
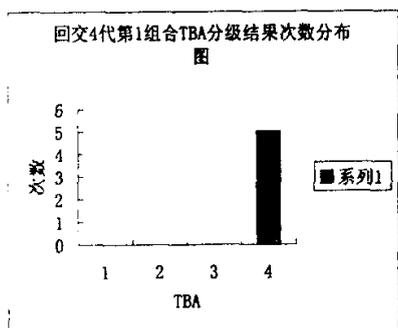
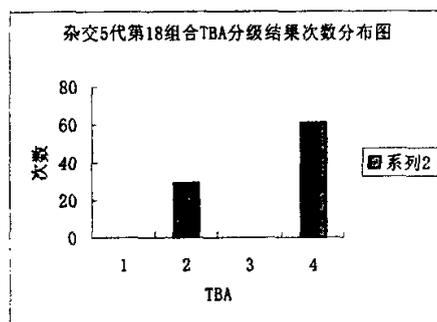
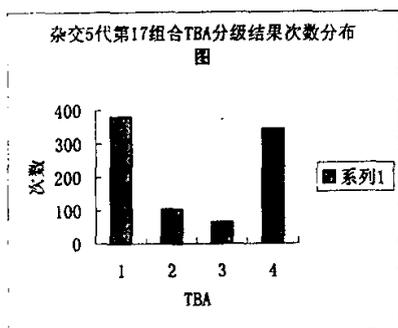
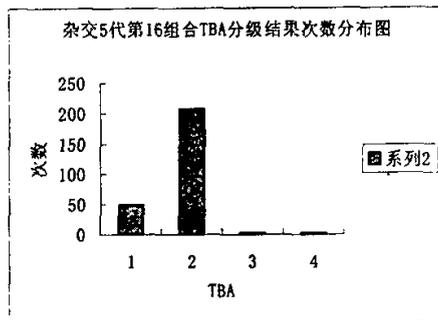
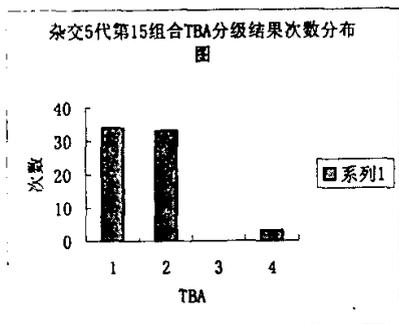


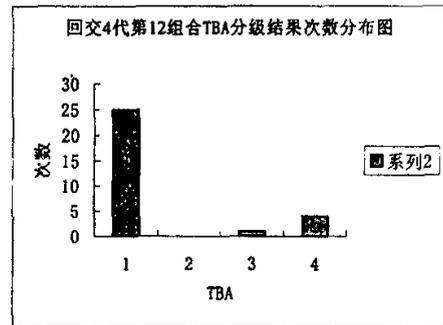
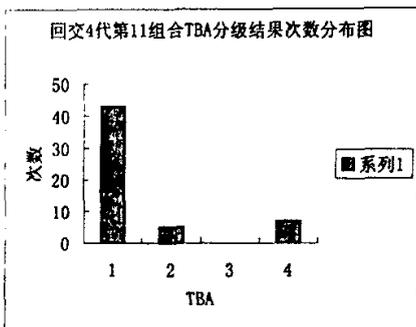
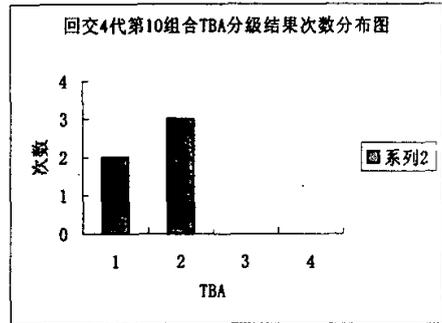
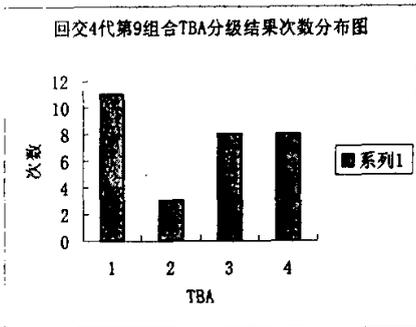
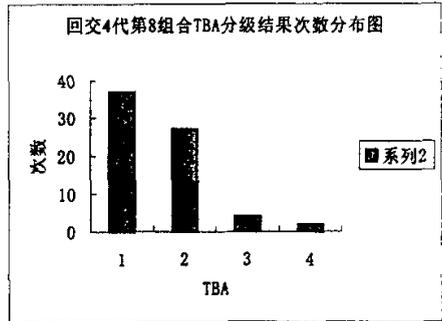
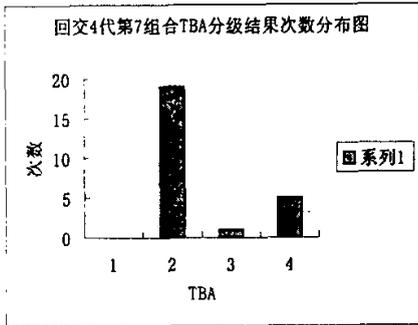
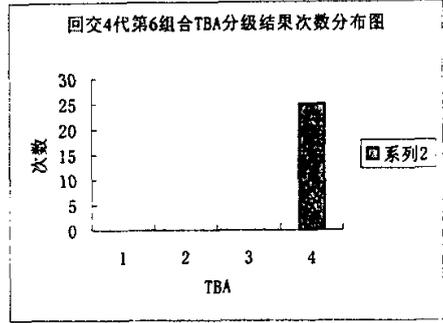
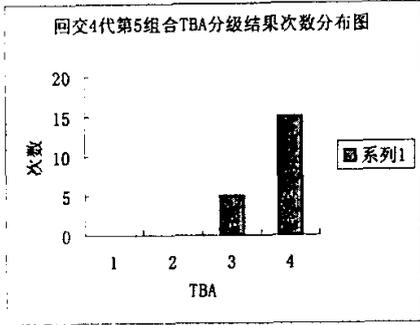


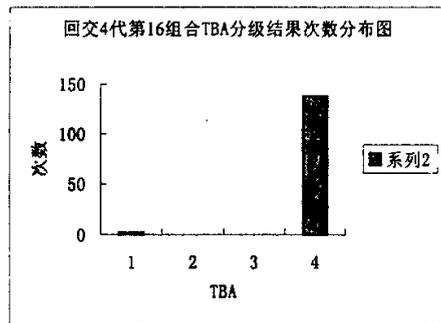
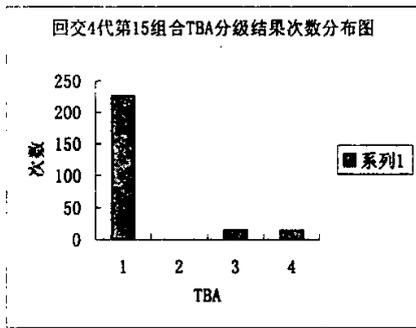
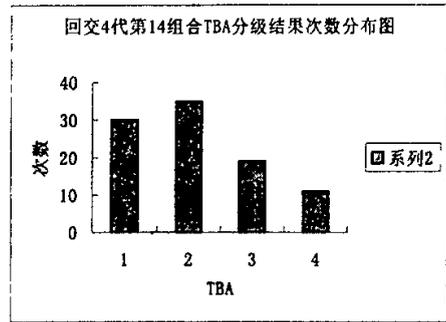
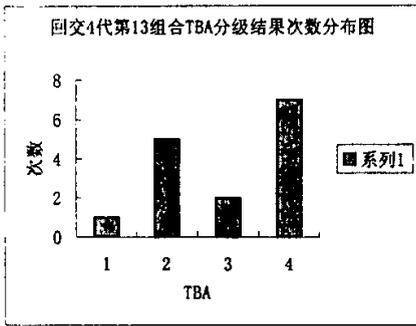












## 作者简介

郑伟 女 汉族 1977年6月出生内蒙古赤峰市。1995年考入内蒙古农牧学院园艺系植物保护专业学习，1999年获农学学士学位。同年考入内蒙古农业大学农学院作物遗传育种专业硕士研究生。