



## 棉仁高油分材料筛选及其脂肪酸发育分析

宋俊乔<sup>1</sup>, 孙培均<sup>2</sup>, 张霞<sup>1</sup>, 张献龙<sup>1</sup>, 聂以春<sup>1</sup>, 郭小平<sup>1</sup>, 朱龙付<sup>1\*</sup>

(1. 华中农业大学植物科学与技术学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070)

**摘要:**对2个主要栽培棉种共61个棉花材料的棉仁油分含量测定表明,棉花种间的棉仁油分含量差异较大。陆地棉和海岛棉材料的平均棉仁油分含量分别为30.42%和37.25%。陆地棉材料中棉仁油分含量变幅较大,从25.27%到35.42%;海岛棉材料的棉仁油分含量相对一致。分别以海岛棉‘Pima90-53’和陆地棉‘徐州142’、‘T586’为材料,考察了棉子发育过程中,油分含量及成分的发育变化进程。研究发现,棉仁油分含量在开花后20d时已达到棉仁干重的25%左右,棉子完全成熟时油分相对含量达到最高。气相色谱分析表明,棉仁脂肪酸主要包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸等,其中亚油酸的含量可达50%以上。随着棉子的发育,棉仁亚油酸含量逐渐减少,而棕榈酸、硬脂酸和油酸含量逐渐增加。棉花种间和种内材料的棉仁油分含量差异较大,说明对棉花材料的棉仁油分含量进行遗传改良具有较大的潜力。

**关键词:**棉花;棉仁油分;成分;发育

中图分类号:S562 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2010)04-0291-06

## Screening of Cotton Materials with High Content of Seed Oil and Development of Seed Fatty Acid

SONG Jun-qiao<sup>1</sup>, SUN Pei-jun<sup>2</sup>, ZHANG Xia<sup>1</sup>, ZHANG Xian-long<sup>1</sup>, NIE Yi-chun<sup>1</sup>, GUO Xiao-ping<sup>1</sup>, ZHU Long-fu<sup>1\*</sup>

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** A total of 61 cultivars from two main cotton cultivated species (*Gossypium hirsutum* L., and *Gossypium barbadense* L.) were employed to investigate the content of cottonseed oil. Apparently difference was found between the two species in content of cottonseed oil with average content of 30.42% and 37.25% in upland cotton and sea-island cotton, respectively. The cottonseed oil contents varied widely from 25.27% to 35.42% in cultivars from upland cotton compared with 34.77% to 38.87% in cultivars from sea-island cotton. Meanwhile, ‘Pima90-53’, a sea-island cotton cultivar, ‘Xu142’ and ‘T586’, two upland cotton cultivars, were selected to study the development of oil in contents and ingredients during the development of seed. The results showed the content of oil increased coupled with the development of seed, and arrived the content peak when the seed matured. The major ingredients of fatty acid included palmitic acid, stearic acid, oleic acid, and linoleic acid by means of gas chromatography. Among them, linoleic acid could be up to 50%. The content of linoleic acid decreased during the development of seed, while opposite result was found in palmitic acid, stearic acid and oleic acid. Therefore, the content of cottonseed oil could be improved potentially based on the great variation in content of cottonseed oil among the upland cotton cultivars and between the two main cultivated cotton species.

**Key words:** cotton; cottonseed oil; ingredient; development

棉花是世界上最大的纤维作物,也是重要的油料作物,在我国和世界经

济中具有重要地位。棉子是棉花生产的主要副产品,产量约为皮棉产量的2倍。2008年,我国棉花种植面积为576万

收稿日期:2009-09-10 作者简介:宋俊乔(1984-),女,在读硕士;\* 通讯作者,lfzhu@mail.hzau.edu.cn

基金项目:华中农业大学“大学生科技创新基金”及“转基因生物新品种培育重大专项”(2008ZX08005-005-1)

hm<sup>2</sup>,皮棉产量为 750 万 t,棉子产量约为 1400 万 t,约相当于同年我国油料作物总产量的 50%<sup>[1]</sup>。棉子中除可利用的短绒外,棉仁中还含有 30%~40%的脂肪酸,棉仁蛋白还可作食品和饲料原料,这使得棉花成为棉、油、粮综合利用的作物。

研究表明棉子油中含有大量的人体必需的脂肪酸,其中亚油酸的含量可达 50%左右,除作为部分食用油外,棉子油及其提取产品还在食品和医学上被广泛研究与应用<sup>[2-5]</sup>。随着世界油气能源供需紧张不断加剧,人们对生物质能产品的来源与开发研究也日益重视,已在利用生物发酵由玉米产生酒精等方面形成一定规模的生物质能产业。但由粮食作物进行生物质能生产已引起世界粮食市场动荡,并对社会经济发展造成负面影响,因此“非粮”生物质能原料应该是未来生物质能产业发展的方向<sup>[6]</sup>。棉子是棉花生产的副产品,其生产与棉花纤维产量无明显冲突,以我国的棉花年产量 600 万 t 推测,我国的棉子年产量在 1200 万 t 左右。与其它生物质能材料相比,棉花生产区域相对稳定和集中,棉子的年产量也相对稳定,还能提高棉花的综合经济效益,提高农民收入。因此棉子可以作为生物质能材料的重要来源之一,国内已有数家单位开展了利用棉子油生产生物柴油的研究<sup>[7-9]</sup>。虽然国内外已有对棉子油中脂肪酸成分及含量的研究<sup>[2,10-11]</sup>,但目前还未有对棉花种质资源中高脂肪酸含量材料筛选及棉子脂肪酸发育进程的报道。考察棉花种质材料中棉仁脂肪酸含量、成分并研究其在棉子发育进程中的变化,从中筛选出具有高脂肪酸含量的种质材料是对棉花进行油分与纤维同步改良的基础,对进一步提高棉花的综合经济效益具有重要的意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

本研究 2006 年和 2007 年在华中农业大学进行。实验材料包括来自陆地棉和海岛棉 2 个主要栽培棉种的 61 个棉花品种(系)。材料中陆地棉材料 52 份,主要为湖北棉花品种(系),海岛棉材料 9 份,主要为新海系列棉花品种,具体名称见表 1。种子来源于当年材料收获的种子或不同

发育时期的胚珠。

### 1.2 主要仪器及试剂

HP6890gC 型气相色谱仪(HP,美国),岛津 AUY120 精密天平(SHIMADZU,日本)。无水乙醚、正己烷、无水甲醇、氢氧化钾等均为国产分析纯试剂。

### 1.3 方法

**1.3.1 棉子不同发育时期的田间取样。**在棉花开花时进行挂牌标记,并标明开花日期。分别取开花后 20 d、25 d、30 d、35 d 及完全成熟棉铃,取棉子,烘干备用。

**1.3.2 棉仁油分含量测定。**采用索氏抽提法提取棉仁中的总油分<sup>[12]</sup>,具体方法略有改动:①将棉子于 80℃的烘箱中烘 8 h 以除去种子中的大部分水分,冷却后剥取棉仁;②取 5 g 左右的棉仁于 80℃的烘箱中烘 2 h 后置干燥皿中冷却至室温;③滤纸袋在 105℃烘箱中烘 2 h,置干燥皿中冷却至室温,称重,记作 X(g);④将种仁磨碎后包入已称重的滤纸袋,于 105℃烘箱中烘 4 h 后置干燥皿中冷却 1 h,称重,记作 Y(g);⑤用无水乙醚浸泡滤纸包 3 h 后更换新的无水乙醚,然后于 60℃水浴环境下抽提过夜;⑥取出滤纸包,通风晾干,再于 105℃烘箱中烘 4 h,置干燥皿中冷却 2 h,称重记为 Z(g);⑦计算油分含量,棉仁油分含量(%)= $(Z-X)/(Y-X) \times 100$ 。普通材料测定因种子量限制安排 2 次实验重复,取平均值为样品棉仁油分含量。棉仁发育时期油分含量测定为 3 次实验重复。

**1.3.3 棉仁油分成分色谱测定。**采用气相色谱分析法对棉仁脂肪酸成分进行分析,具体操作为:取烘干的棉仁 1 g 左右,研磨;加入 5 mL 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 的 KOH-CH<sub>3</sub>OH 溶液,转移至 25 mL 容量瓶;振摇,静置,加入 5 mL 正己烷,摇匀,静置;加水定容;静置后取上清液,注入气相色谱仪;记录实验数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花材料的棉仁油分含量测定

测定结果表明,陆地棉与海岛棉材料在棉仁油分含量上差异明显(表 1)。陆地棉材料棉仁油分含量变幅较大,从 25.27% (7033 系)到 35.42%

(晋棉 6 号),平均含量为 30.42%,材料间的变异系数为 12.5%。海岛棉材料的棉仁油分含量相对稳定,含量变幅从 34.77%到 38.87%,平均含量比陆地棉材料高 6.83%,材料间的变异系数为 4.3%。

表 1 棉花材料的棉仁油分含量

Table 1 The content of seed fatty acid in cotton materials

品种(系)	棉种	棉仁油分含量 /%	品种(系)	棉种	棉仁油分含量 /%	品种(系)	棉种	棉仁油分含量 /%
新陆中 9 号	陆地棉	31.17	中棉所 36	陆地棉	30.94	7054	陆地棉	35.38
T586	陆地棉	33.39	中棉所 37	陆地棉	28.32	7058	陆地棉	28.00
徐州 142	陆地棉	32.17	泗棉 3 号	陆地棉	32.21	7063	陆地棉	29.28
鄂抗 4 号	陆地棉	29.53	晋棉 6 号	陆地棉	35.42	7072	陆地棉	32.81
鄂抗 5 号	陆地棉	31.53	晋棉 26 号	陆地棉	33.59	7076	陆地棉	34.54
鄂抗 6 号	陆地棉	29.71	99B	陆地棉	31.95	7085	陆地棉	30.89
鄂抗 8 号	陆地棉	26.14	7021	陆地棉	26.83	7087	陆地棉	32.49
鄂抗 9 号	陆地棉	27.92	7025	陆地棉	27.34	7088	陆地棉	31.68
鄂抗 10 号	陆地棉	29.42	7028	陆地棉	27.39	7089	陆地棉	29.33
鄂棉 20 号	陆地棉	28.19	7029	陆地棉	29.67	7092	陆地棉	33.51
鄂棉 23 号	陆地棉	27.46	7032	陆地棉	35.31	Pima3-79	海岛棉	34.77
鄂棉 18 号	陆地棉	25.89	7033	陆地棉	25.27	Pima90-53	海岛棉	37.13
鄂荆 1 号	陆地棉	31.72	7034	陆地棉	35.00	新海 6 号	海岛棉	36.55
GK 19	陆地棉	29.85	7035	陆地棉	27.51	新海 12 号	海岛棉	36.79
JC201	陆地棉	28.35	7041	陆地棉	31.78	新海 14 号	海岛棉	35.53
3201	陆地棉	26.11	7042	陆地棉	32.56	新海 16 号	海岛棉	38.87
119	陆地棉	32.85	7043	陆地棉	34.87	新海 18 号	海岛棉	38.84
华抗 1 号	陆地棉	28.46	7044	陆地棉	27.47	新海 21 号	海岛棉	38.14
中棉所 10	陆地棉	29.99	7045	陆地棉	27.19	新海 22 号	海岛棉	38.63
中棉所 12	陆地棉	30.47	7051	陆地棉	33.56			
中棉所 19	陆地棉	31.83	7053	陆地棉	27.83			

## 2.2 棉子发育过程中的棉仁油分含量分析

对‘徐州 142’、‘T586’和‘Pima90-53’的不同棉子发育时期进行取样,测定棉仁油分含量。研究发现,在开花后 20 d 时,棉仁油分含量已占棉仁干重的 20%以上(图 1)。随着棉子发育时期的增加,棉仁油分的相对含量也相应增加,在开花后 30 d 左右棉仁中的油分含量变化最为明显,直到棉子发育成熟时达到其最大含量。海岛棉和陆地棉 2 个材料的棉仁油分含量发育趋势不完全相同。2 个陆地棉材料的棉仁油分含量在开花后 20~30 d 时含量增长迅速,并且都在开花后 30 d 左右达到最高相对含量。但在开花后 35 d 时陆地棉材料的棉仁油分相对含量均下降,此后又逐渐升高,到成熟时相对含量与其在开花后 30 d 时基本相同。海岛棉材料的棉仁油分含量在开花后 20~30 d 时增加较慢,但在开花后 30~35 d 时增

加迅速,此后油分含量增加较缓,到成熟时达到最大相对含量。

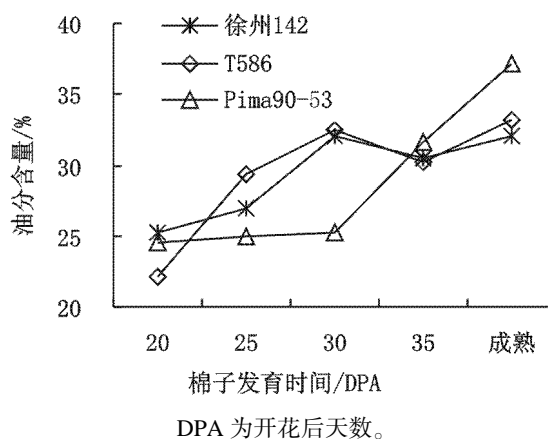


图 1 3 个棉花材料的棉仁油分含量的发育动态分析  
Fig.1 The contents of fatty acid during the development of seed in three cotton materials

### 2.3 棉子发育过程中脂肪酸的成分分析

利用气相色谱对棉子发育过程中的脂肪酸成分进行了分析,棉仁脂肪酸成分主要包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、20 碳烯酸及芥酸等(表 2),这与回瑞华等<sup>[11]</sup>的研究结果类似。3 个材料棉仁发育过程中各种脂肪酸含量变化的总体趋势基本相同:在棉仁发育的整个时期中亚油酸含量均为最高,占总含量的 40%~59%,棕榈酸及油酸含量分别在 22%~30%和 15%~27%之间,三者的含量之和占成熟棉仁中脂肪酸总含量的 96%以上,是棉仁中脂肪酸的主要种类。而其它类型的脂肪酸,如硬脂酸、亚麻酸、20 碳烯酸及芥酸含量均很低,后三者的最终含量均在 0.5%

以下。棕榈酸、硬脂酸和油酸含量随棉仁发育均缓慢增加,亚油酸、亚麻酸、20 碳烯酸和芥酸等长链脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量则随着棉仁发育逐渐降低。2 种主要不饱和脂肪酸油酸和亚油酸含量在 3 个材料棉仁发育中基本保持稳定,总含量在 70%左右。到棉子发育成熟时,‘Pima90-53’中亚油酸及多不饱和脂肪酸含量与油酸及饱和脂肪酸含量比例(1.05)要远大于 T586 和徐州 142 两个陆地棉材料(分别为 0.73 和 0.69)。结果还发现,徐州 142 棉仁中 20 碳烯酸和芥酸的含量相对较高,特别是在棉仁发育早期,分别达到 1.84%和 3.18%。

表 2 棉仁发育过程中的脂肪酸成分与其含量分析

Table 2 The ingredients and corresponding contents of fatty acid during the development of seed %

材料	时期	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	20 碳烯酸	芥酸
Pima90-53	20 DPA	22.70	1.83	16.34	58.56	0.27	0.14	0.17
	25 DPA	24.14	1.82	16.40	57.09	0.26	0.15	0.15
	30 DPA	25.01	2.20	18.25	54.14	0.22	0.13	0.05
	35 DPA	24.98	2.24	19.10	53.29	0.19	0.16	0.04
	成熟	25.18	2.79	20.69	50.97	0.19	0.10	0.07
T586	20 DPA	26.89	2.23	17.21	52.94	0.48	0.14	0.10
	25 DPA	27.06	2.35	18.01	52.09	0.24	0.14	0.11
	30 DPA	27.04	2.16	17.55	52.96	0.16	0.09	0.04
	35 DPA	27.03	2.27	22.22	48.17	0.19	0.08	0.02
	成熟	28.92	2.62	26.16	42.03	0.16	0.08	0.03
徐州 142	20 DPA	23.40	2.08	15.48	53.29	0.71	1.84	3.18
	25 DPA	24.28	2.11	16.68	53.05	0.70	1.27	1.89
	30 DPA	25.61	2.13	17.67	51.43	0.84	0.87	1.46
	35 DPA	27.22	2.41	20.86	47.99	0.38	0.45	0.68
	成熟	29.61	2.27	27.30	39.64	0.39	0.33	0.46

### 3 讨论

索氏抽提法进行油分含量分析因操作相对简单,设备要求不高而被广泛应用于油分的相对含量测定<sup>[11,13]</sup>。但在进行棉仁油分发育分析时也有一定的不足,表现在分析时间较长和要求样品量较多。从样品采集、烘干到油分含量的获得通常需要 2 d 时间,每次能分析 6~8 份样品。为减少实验中的实验误差,样品量一般不少于 5 g。在棉子发育早期棉子体积增加迅速,在开花后 20 d 左右能达到棉子成熟时的大小,但棉子内棉仁的发育非常缓慢。在开花后 20 d 以前,棉仁主要以

水状物为主,棉仁占棉子的生物学干重非常小,因此进行棉子发育早期时棉仁油分的含量测定较为困难。本研究从开花后 20 d 开始取样测定,前期取样工作量较大,对棉仁发育后期样品的采集造成一定困难。因此,在进行棉仁油分含量发育动态研究时还有待采用需样少、周期短的新方法。

通过陆地棉和海岛棉共 61 份棉花品种(系)的棉仁油分含量比较分析,结果表明陆地棉与海岛棉种间棉仁油分含量之间存在较大的差异,海岛棉材料普遍具有较高的棉仁油分含量。陆地棉



材料间棉仁油分含量具有较大的变异系数,这与韩菊等<sup>[14]</sup>研究结果相似,表明陆地棉材料在棉仁油分含量上具有较大的遗传变异,进行棉花高油含量育种具有较好的潜力。海岛棉材料间的棉仁油分含量变异较小,这可能与本研究中海岛棉材料来源相对单一有关。

棉仁油分含量在棉子发育过程中呈动态变化,基本上随着棉仁发育时期的延长,油分含量相应增加,但海岛棉和陆地棉两者在油分含量的发育模式上略有差异。2个陆地棉材料农艺性状差异较大,但棉仁油分含量的发育模式基本相同。实验结果初步认为陆地棉材料棉仁油分的发育模式为开花后 20~30 d 是棉仁油分含量快速增长期,在开花后 35 d 油分含量增长变慢,相对含量略有下降,在棉子成熟时达到最大含量;而海岛棉棉仁油分相对含量在开花后 30 d 之前增长缓慢,但在棉子发育的中后期其增加较为迅速。本实验中采用了 2 个不同的陆地棉材料和 1 个海岛棉材料来探讨棉仁油分的发育动态变化,结果是否适用于所有陆地棉和海岛棉材料还有待增加更多的实验样品以确定棉仁油分的发育模式。陆地棉和海岛棉棉仁油分的发育模式的差异可能与不同棉种棉子发育的生物学特性相关。

棉仁成熟时所含脂肪酸成分及相对含量与前人研究基本相同<sup>[10]</sup>。棉仁脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,油酸与亚油酸 2 种主要不饱和脂肪酸占棉仁总脂肪酸含量的 70%左右,亚油酸在整个棉仁发育中始终为最大的脂肪酸成分。气相色谱分析表明棉仁脂肪酸不同组分的含量在棉仁发育过程中并非固定不变。从 3 个材料的分析结果来看,海岛棉和陆地棉棉仁发育过程中脂肪酸成分动态变化趋势基本相同,即以亚油酸为界,长链与多不饱和脂肪酸相对含量随棉仁发育逐渐降低,而相对较短链与饱和脂肪酸含量逐渐增加。不同材料间棉仁脂肪酸成分相对比例有所不同,这可能与不同材料棉仁发育过程中参与脂肪酸代谢的相关酶活性不同有关。

棉子是一个特殊的植物器官,是棉花种子发育的场所,同时也是棉花主产品棉纤维发育的载体。因此棉纤维发育与棉仁发育间存在着何种联系也是目前研究的热点。Qin 等<sup>[15]</sup>发现棉仁中长

链饱和脂肪酸能通过增强乙烯合成而促进纤维伸长。本研究发现棉仁发育过程中饱和长链脂肪酸(棕榈酸与硬脂酸)相对含量确实随棉仁发育在不断增加,但变化幅度不大。而具有更长和更强纤维品质的海岛棉棉仁发育过程中饱和长链脂肪酸含量始终低于陆地棉材料。棉花纤维发育中期到纤维发育成熟,海岛棉中亚油酸及长链多不饱和脂肪酸含量与油酸及长链饱和脂肪酸含量比例一直大于陆地棉材料。因此,饱和长链脂肪酸与不饱和长链脂肪酸是否都参与了棉花纤维发育调控,饱和长链脂肪酸与不饱和长链脂肪酸两者在纤维发育中的作用都还有待进一步证实。

#### 致谢:

感谢国家油菜工程技术中心孙秀丽老师协助棉仁油脂成分气相色谱分析。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局. 中华人民共和国 2008 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2009-02-26]. [http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20090226\\_402540710.htm](http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20090226_402540710.htm). National Bureau of Statistics of China. Statistical Communiqué of the People's Republic of China on the 2008 National Economic and Social Development [EB/OL]. [2009-02-26]. [http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20090226\\_402540710.htm](http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20090226_402540710.htm).
- [2] 李贵深,李正平,李晓陆,等. 棉子仁中水分、粗脂肪及脂肪酸含量的分析[J]. 河北农业大学学报, 1989,12(4): 104-108. LI Gui-shen, Li Zheng-ping, Li Xiao-lu, et al. The determining of the contents of moisture, crude fat and fatty acids in cotton seed [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1989,12 (4): 104-108.
- [3] 贺群英,张李丽,张月萍. 以精炼棉子油为基础油生产食用调和油的研究[J]. 中国油脂, 2002, 27(6): 21-23. HE Qun-ying, Zhang Li-li, Zhang Yue-ping. Study on the production of reconciled edible oil with fundamental refined cottonseed oil [J]. China Oils and Fats, 2002, 27(6): 21-23.
- [4] 李云峰,袁莉,杨明,等. 棉子总黄酮抗抑郁作用的研究[J]. 中国药理学通报, 2006, 22 (1): 60-63. LI Yun-feng, Yuan Li, Yang Ming, et al. Studies on the antidepressant effect of total flavone extracted from cotton seeds [J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2006, 22 (1): 60-63.
- [5] 常青,邵金辉,许增禄,等. 低剂量棉酚与甾体激素联合用药抗男性生育协同作用[J]. 解剖学报, 2009, 40(2): 312-316. CHANG Qing, Shao Jin-hui, Xu Zeng-lu, et al. Synergistic effect

- of combined regimen of low-dose gossypol with steroid hormones on male antifertility [J]. *Acta Anatomica Sinica*, 2009, 40 (2): 312-316.
- [6] 曾 靖,刘想平,王雅鹏. 世界粮食危机对中国粮食安全的启示[J]. *长江大学学报:自然科学版*, 2009, 6(4): 80-82.  
ZENg Jing, Liu Xiang-ping, Wang Ya-peng. Inspiration of China's food security from world food crisis [J]. *Journal of Yangtze University: Nat Sci Edit*, 2009, 6(4): 80-82.
- [7] 孙广东,刘 云,吴谋成. 毛棉子油制备生物柴油的前处理工艺[J]. *华中农业大学学报*, 2007, 26(5): 719-721.  
SUN Guang-dong, Liu Yun, Wu Mou-cheng. Pretreatment of biodiesel production from raw cottonseed oil[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2007, 26(5): 719-721.
- [8] 卡巴罗,沈本贤,李 泓. 棉子油制备生物柴油的研究[J]. *当代化工*, 2008, 37(5): 481-483.  
KABALU J C, Shen Ben-xian, Li Hong. Preparation of biodiesel from cottonseed oil [J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2008, 37(5): 481-483.
- [9] 杨伟华,许红霞,王延琴,等. 应用棉子油生产生物柴油的可行性[J]. *中国棉花*, 2007, 34(1): 42-44.  
YANG Wei-hua, Xu Hong-xia, Wang Yan-qin, et al. Feasibility study on production of biodiesel from cottonseed oil [J]. *China Cotton*, 2007, 34(1): 42-44.
- [10] LIU Qin, Singh S, Green A. Genetic modification of cottonseed oil using inverted-repeat gene-silencing techniques[J]. *Biochemical Society Transactions*, 2000, 28(6): 927-929.
- [11] 回瑞华,侯冬岩,李铁纯,等. 棉子油中脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. *鞍山师范学院学报*, 2004, 6(6): 48-49.  
HUI Rui-hua, Hou Dong-yan, Li Tie-chun, et al. Determination of fatty acids in cottonseed oil by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Anshan Normal University*, 2004, 6 (6): 48-49.
- [12] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 241-242.  
WANG Xue-kui. *Experiment principle and technology of plant physiology and biochemistry* [M]. 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press, 2006: 241-242.
- [13] 赵 婷,岳 琳,李 勇. 巴旦木仁油中脂肪酸成分分析 [J]. *中国油脂*, 2009, 34(2): 78-79.  
ZHAO Ting, Yue Lin, Li Yong. Fatty acid composition analysis of *Prunus amygdalus butsch.* seed oil [J]. *China Oils and Fats*, 2009, 34(2): 78-79.
- [14] 韩 菊,魏福祥,庞津霞,等. 转 Bt 基因棉子仁中营养成分的研究[J]. *中国油脂*, 2003, 28(10): 58-60.  
HAN Ju, Wei Fu-xiang, Pang Jin-xia, et al. Nutritional ingredients in transgenic Bt cotton seed kernel [J]. *China Oils and Fats*, 2003, 28(10): 58-60.
- [15] QIN Yong-mei, Hu Chun-yang, Pang Yu, et al. Saturated very-long-chain fatty acids promote cotton fiber and *Arabidopsis* cell elongation by activating ethylene biosynthesis[J]. *The Plant Cell*, 2007, 19: 3692-3704. ●