

显性低酚棉新品系种仁营养品质与利用评价

肖松华, 吴巧娟, 刘剑光, 赵君, 陈旭升, 狄佳春, 马晓杰, 许乃银

(江苏省农业科学院经济作物研究所, 农业部长江下游棉花与油菜重点实验室, 南京 210014)

摘要:以自主选育的7个显性无腺体新品系为材料,通过种子性状考察,种仁游离棉酚、脂肪酸和氨基酸含量测定,研究了低酚棉种仁具有重要的油用、食用价值和保健功能。结果表明:4个新品系种仁棉酚含量低于国家食用标准,其中苏显无154、苏显无156棉酚占种仁质量低于 $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,成为名副其实的无酚棉新种质。低酚新品系种仁粗脂肪含量高于有酚品种,不饱和脂肪酸总含量超过70%,油酸相对含量略低于有酚品种,亚油酸、亚麻酸、棕榈油酸相对含量以及不饱和脂肪酸总含量与有酚品种相同。低酚新品系种仁色氨酸含量高于常规有酚品种,其它必需氨基酸含量以及氨基酸总含量与有酚品种相近。低酚基因 Gl_2^s 对棉花种仁脂肪酸、氨基酸组成及其含量未产生负效应。

关键词:棉花;显性低酚;种仁;脂肪酸;氨基酸

中图分类号:S562.01 **文献标志码:**A

文章编号:1002-7807(2012)02-0127-06

Analysis for Nutrient Quality and Utilization Appraisal of the Kernel from New Upland Cotton Strains with Dominant Low Gossypol Character

XIAO Song-hua, WU Qiao-juan, LIU Jian-guang, ZHAO Jun, CHEN Xu-sheng, DI Jia-chun, Ma Xiao-jie, XU Nai-yin

(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Cotton and Rapeseed, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to clarify the oil, edible value and healthy functions of kernels from new low-gossypol strains, seven new dominant glandless strains and two gossypol cultivars from upland cotton, Sumian 22 and Sikang 1, were selected to determine content of free gossypol, fatty acids, amino acids in kernels, and other characters. The results showed that the gossypol content of the kernels of four new strains were under the national edible standard ($200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Suxianwu 154 and Suxianwu 156 are new upland cotton lines without gossypol. The rough fat content of kernels from new low-gossypol strains were higher than that from gossypol cultivars, and the total content of unsaturated fatty acids from low gossypol kernels was more than 70%. The relative amounts of linoleic acid, linolenic acid, palm oleic acid, and total unsaturated fatty acids from low gossypol kernels were the same as that from gossypol ones, whereas the relative amounts of oleic acid from low gossypol kernels were slightly lower than that from gossypol ones. Tryptophan content of low gossypol kernels was significantly higher than that of conventional gossypol kernels, and the content of other essential amino acids as well as the total content of amino acids from low gossypol kernels were the same as that from gossypol ones. There were no adverse influences of the glandless gene Gl_2^s on the composition and content of fatty acids and amino acids in low gossypol kernels.

Key words: cotton; dominant low gossypol; kernel; fatty acids; amino acids

目前全球大面积栽培的棉花品种主要是有酚棉,其种仁含有棉酚及其衍生物,人及非反刍动物食用后会出现中毒现象,轻则头晕、呕吐,重则引起死亡。低酚棉是一种植株组织、器官中无

色素腺体的棉花种质资源,其种仁直接榨油可生产高质量的食用油,无需精炼;榨油后剩余的棉仁饼碾磨成棉仁粉,可作为面包、饼干、面条等面食中优质蛋白的补充成分,有利于种仁营养成分

收稿日期:2011-06-30 **作者简介:**肖松华(1964-),男,硕士,研究员, njxsh@sina.com

基金项目:国家“十二五”转基因生物新品种培育科技重大专项(2011ZX08005-001);江苏省农业科技自主创新基金项目(cx(10)135);江苏省“十二五”科技支撑计划项目(BE2011304)

的高效利用^[1]。

在棉花中已发现多种类型的低酚基因资源,其中仅有两种类型即双隐性低酚(gl_2gl_3)和显性低酚(Gl_2^e)具有实际利用价值。鉴于双隐性低酚性状易受周围有酚棉的花粉污染引起退化,利用显性低酚性状开展低酚棉花新品种选育成为明智的选择。本研究利用自主选育的7个抗虫、显性无腺体棉花新品系作为供试材料,通过对种仁棉酚、脂肪酸、氨基酸组分检测及其含量测定,阐明低酚棉新品系种仁的油用、食用价值和经济价值,为显性低酚棉花转变成粮、棉、油兼用的农作物提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

本研究所于1994年从中国农业科学院棉花研究所引进海岛棉显性无腺体品系海1,通过与陆地棉高产品种苏棉6号杂交,杂种 F_1 与苏棉6号回交,后代群体性状鉴定、单株选择以及自交纯合,于2000年育成陆地棉显性无腺体新种质系苏显无062。2001年以高产抗枯萎病品种与优质抗黄萎病品系配组、高产抗虫品种与苏显无062配组形成各自 F_1 ,2002年同时种植两组 F_1 ,并进行两组 F_1 杂交获得复交 F_1 ,然后采用南繁加代、江苏主产棉区穿梭育种和分子标记辅助选择等育种技术,于2008年育成7个显性无腺体棉花新品系。

以苏显无152、苏显无154、苏显无155、苏显无156等7个无腺体新品系和有腺体品种苏棉22号和泗抗1号(转Bt基因抗虫棉)棉子种仁为供试材料,其中7个显性无腺体新品系均来自同一个复交组合。

1.2 方 法

1.2.1 种仁游离棉酚含量测定。对每个品种(系)精选200粒经过硫酸脱绒的饱满种子,使用工具钳将种壳夹出裂口,除去种壳后获得种仁。利用研钵分别对每份种仁进行充分研磨变成粉末状,随即将样品送交江苏省农业科学院食品质量与安全检测研究所,委托单位采用国家标准“GB/T 13086-1991 饲料中游离棉酚的测定方法”对送检的9份棉仁样品进行游离棉酚含量测定。

1.2.2 种子性状测定。于棉花吐絮盛期,分别从4个种仁棉酚含量低于0.02%的低酚新品系和2个有酚品种棉株上收获第一果节的50个正常吐絮棉铃子棉,晒干后使用皮辊轧花机分离皮棉和种子。从6个品种(系)中随机抽取300粒饱满的毛子,电子天平称重获得百粒毛子重(W_0),然后硫酸脱绒晒干后得到百粒光子重(W_1),接着采用电工钳夹破棉子壳,人工分离棉子壳和种仁,称重得到百粒种仁重(W_2)。

$$\text{种仁百分率} = W_2 / W_0 \times 100\%$$

$$\text{种壳百分率} = (W_1 - W_2) / W_0 \times 100\%$$

$$\text{短绒百分率} = (W_0 - W_1) / W_0 \times 100\%$$

1.2.3 种仁脂肪酸组成检测。棉子种仁研磨方法参照1.2.2。样品制成后立即送交江苏省农业科学院食品质量与安全检测研究所。委托单位采用国家标准“GB 2906-1982 谷类、油料作物种子粗脂肪测定方法”对送检的9个棉仁样品进行粗脂肪含量测定。并使用岛津GC-14B型气相色谱分析仪,对9份样品进行脂肪酸含量检测,技术参数为:柱箱温度140~220℃,检测温度280℃。

1.2.4 种仁氨基酸含量测定。棉子种仁研磨方法参照1.2.2。样品制成后立即送交江苏省理化测试中心。委托单位采用国家标准“GB/T 18246-2000 饲料中氨基酸含量的测定方法”,对送检的9个棉仁样品进行氨基酸含量测定。使用的仪器为A200 amino Nova型氨基酸分析仪,技术参数为:温度20℃,湿度60%。

2 结果与分析

2.1 植株无腺体棉花新品系种仁游离棉酚含量

种仁游离棉酚含量测定结果表明,在供试的7个显性无腺体新品系中,苏显无151的种仁棉酚含量不仅高于我国安全食用标准($< 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[1],而且高于联合国粮农组织规定的人类食用标准($< 400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[1],不属于低酚棉的范畴;苏显无150和苏显无153的种仁棉酚含量均低于粮农组织食用标准,但高于我国食用标准,这两个无腺体新品系种仁无利用价值;苏显无152、苏显无154、苏显无155和苏显无156种仁棉酚含量均低于粮农组织、国内食用标准(表1),因此可作为原料应用于人类食用油、高蛋白食

品的生产。

参照我国安全食用标准,本研究仅对种仁棉酚含量低于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 4 个新品系进行营养品质分析与利用评价。苏显无 152、苏显无 154 等 4 个新品系种仁棉酚含量为常规品种苏棉 22 号的 0.06%~4.13%,为转基因抗虫品种泗抗 1 号的

0.07%~4.74%。其中苏显无 154 和苏显无 156 种仁棉酚含量低于 $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,成为名副其实的无酚棉花新品系。通过查阅国内外相关报道可知^[2-8],这两份种质系是迄今获得的、种仁棉酚含量最低的棉花种质资源之一,具有重要的利用价值。

表 1 植株无腺体棉花新品系种仁棉酚含量

Table 1 Kernel gossypol contents of upland cotton strains with glandless plant

品种(系) Variety	棉酚含量 Gossypol content/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	粮农组织标准一致性 Conformation to FAO standard	国家标准一致性 Conformation to Chinese standard
苏显无 150 Suxianwu 150	248.21	+	-
苏显无 151 Suxianwu 151	849.01	-	-
苏显无 152 Suxianwu 152	138.81	+	+
苏显无 153 Suxianwu 153	347.74	+	-
苏显无 154 Suxianwu 154	1.97	+	+
苏显无 155 Suxianwu 155	10.75	+	+
苏显无 156 Suxianwu 156	2.38	+	+
泗抗 1 号 Sikang No. 1	2930.15	-	-
苏棉 22 号 Sumian No.22	3357.54	-	-

注: + 表示种仁棉酚含量符合国际标准或国家标准; - 表示种仁棉酚含量不符合国际标准或国家标准。

Note: +, means kernel gossypol contents of new glandless strains to conform to FAO standard or Chinese standard;

- , means kernel gossypol contents of new glandless strains not to conform to FAO standard or Chinese standard.

2.2 显性低酚品系种子性状表现

在皮棉单产水平达到品种审定要求的前提下,提高种仁质量在棉子中的比例是实现低酚棉种仁油用、食用的育种目标。种子性状鉴定结果表明,4 个低酚棉新品系百粒毛子重、百粒光子重和百粒种仁重平均值分别为 11.9 g、11.4 g 和 7.0 g,分别比泗抗 1 号和苏棉 22 号的平均值增加 0.7 g、1.6 g 和 1.4 g,种子饱满且充实。4 个低酚棉新品系棉子的种仁百分率为 57.26%~60.98%,而有酚棉种仁百分率为 50%左右,低酚新品系种仁质量百分率明显高于有酚品种苏棉 22 号和泗抗

1 号(表 2)。与此同时,低酚棉新品系百粒种仁重普遍大于有酚棉品种,从而说明显性低酚棉新品系具有种仁开发利用价值。

在低酚棉新品系的棉子中,种壳质量百分率与有酚品种相近;短绒质量百分率为 3.25%~4.80%,比常规有酚品种苏棉 22 号降低 61.94%~74.23%,比抗虫有酚品种泗抗 1 号降低 58.01%~71.57%。降低短绒率、提高种仁率是实现低酚棉种仁油用、食用的育种目标之一,同时表明显性低酚新品系在种仁产量上获得明显的遗传改良进展。

表 2 显性低酚棉花新品系种子性状

Table 2 Phenotype values of seed characters from new upland cotton strains with low gossypol kernel

品种(系) Variety	百粒毛子重 100 fuzzy seeds weight/g		百粒光子重 100 fuzzless seeds weight/g		百粒种仁重 100 kernels weight/g	种仁率 Kernel percentage/%	种壳率 Seed shell percentage/%	短绒率 Fuzz percentage/%
	苏显无 152 Suxianwu 152	10.7	10.4	6.2	57.94	37.25	4.80	
苏显无 154 Suxianwu 154	11.7	11.2	6.7	57.26	38.46	4.27		
苏显无 155 Suxianwu 155	12.3	11.9	7.5	60.98	35.77	3.25		
苏显无 156 Suxianwu 156	12.7	12.1	7.5	59.06	36.22	4.72		
泗抗 1 号 Sikang 1	10.5	9.3	5.2	49.52	39.05	11.43		
苏棉 22 号 Sumian 22	11.9	10.4	6.0	50.42	36.97	12.61		

2.3 显性低酚品系种仁脂肪酸组成及其含量

表 3 表明,4 个低酚新品系种仁粗脂肪含量为 27.5%~30.2%,明显高于两个有酚棉品种;种仁油酸相对含量为 14.44%~14.95%,略低于有酚棉品种;亚油酸相对含量为 54.40%~54.86%,与

目前大面积推广的有酚棉品种相近;亚麻酸、棕榈油酸相对含量与有酚棉处于同一水平;不饱和脂肪酸总含量与目前江苏大面积种植的有酚棉品种相近。

表 3 低酚棉花新品系种仁不饱和脂肪酸相对含量

Table 3 Unsaturated fatty acids relative contents of the kernel from upland cotton strains with low gossypol

品种(系)Variety	粗脂肪含量 Rough fat content	油酸 Oleic acid content	亚油酸 Linoleic acid content	亚麻酸 Linolenic acid content	棕榈油酸 Palmitoleic acid content	不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids content
苏显无 152 Suxianwu 152	30.2	14.93	54.70	0.17	0.52	70.32
苏显无 154 Suxianwu 154	29.2	14.95	54.40	0.23	0.56	70.14
苏显无 155 Suxianwu 155	28.7	14.85	54.70	0.22	0.56	70.33
苏显无 156 Suxianwu 156	27.5	14.44	54.86	0.21	0.50	70.01
泗抗 1 号 Sikang 1	27.7	16.01	54.71	0.24	0.58	71.54
苏棉 22 号 Sumian 22	25.8	16.86	56.66	0.23	0.63	74.38

除不饱和脂肪酸外,棉子种仁还含有 4 种饱和脂肪酸。低酚新品系种仁花生酸、硬脂酸和肉豆蔻酸相对含量与有酚棉品种相近;棕榈酸相对含量略高于有酚棉;脂肪酸总量与有酚棉品种之间无明显差异(表 4),表明显性低酚性状转育到陆地棉遗传背景中,并未引起种仁脂肪酸组成及其含量的明显变化,利用显性低酚新品种进行棉花生产,能够同步实现棉纤维和种仁的高效利用。

食用油营养价值评价的重要指标是多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFA)和饱和脂肪酸(Saturated fatty acids, SF)相对含量的比值。已有研究表明,只有当 PUFA/SF 值 > 2 时,植物油才具有降血脂的功能,而且 PUFA/SF 值越大,植物油降血脂的作用越明显^[9]。4 个低酚新品系 PUFA/SF 值为 2.50~2.55,均大于 2,表明低酚新品系种仁脂肪酸组成及其含量具有保健油功能。

表 4 低酚棉花新品系种仁饱和脂肪酸相对含量

Table 4 Saturated fatty acids relative contents of the kernel from new upland cotton strains with low gossypol %

品种(系)Variety	花生酸 Eicosanoic acid	硬脂酸 Stearic acid	棕榈酸 Palmitic acid	肉豆蔻酸 Myristic acid	饱和脂肪酸 Saturated fatty acids	脂肪酸总量 Total fatty acids
苏显无 152 Suxianwu152	0.29	2.50	24.13	0.70	27.62	97.94
苏显无 154 Suxianwu154	0.28	2.40	24.57	0.70	27.95	98.09
苏显无 155 Suxianwu155	0.28	2.37	24.32	0.66	27.63	97.96
苏显无 156 Suxianwu156	0.30	2.64	24.36	0.67	27.97	97.98
泗抗 1 号 Sikang 1	0.25	2.03	23.24	0.80	26.32	97.86
苏棉 22 号 Sumian 22	0.23	2.15	20.70	0.59	23.67	98.05

2.4 显性低酚棉花新品系种仁氨基酸组成及其含量

表 5 表明,棉子种仁含有 18 种氨基酸,低酚棉新品系种仁氨基酸总含量为 40.76%~42.47%,与有酚棉品种处于相同水平。就人体自身无法合成、必须从外界摄取的 8 种必需氨基酸而言,4 个低酚棉新品系种仁苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸含量与泗抗 1 号和苏棉 22 号处于同一水平;而色氨酸含量与抗虫有酚品种泗抗 1 号相同,显著高于非抗虫有酚品种苏棉 22 号。就人体非必需氨基酸而言,低酚棉新品系种仁丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、组氨酸、脯氨酸含量与泗抗 1 号和苏棉 22 号处于同一水平;而天门冬氨酸、谷氨酸、精氨酸含量与抗虫有酚品种泗抗 1 号相近,略低

于非抗虫有酚品种苏棉 22 号。

3 结论与讨论

3.1 传统低酚棉花新品种选育与利用的技术瓶颈

自 1959 年 McMichael 通过 Acala 棉与 Hopi 棉杂交育成世界上第 1 个低酚棉品种 23B^[10]以来,世界主产棉国相继开展了低酚棉育种与利用研究。1966 年埃及学者 Afifi 等通过 ³²P 诱变,培育出第一个显性低酚海岛棉品种 Bahtim 110^[11],成为全球显性低酚棉花育种的宝贵资源。20 世纪 80~90 年代我国先后育成晋棉 14、新陆中 1 号、中棉所 13、豫棉 6 号、冀棉 19、湘棉 13、浙棉 10 号等低酚棉品种 20 多个^[12]。然而,低酚棉花品种的推广种植和低酚种仁的综合利用并没有形成规模,

表 5 低酚棉花新品系种仁氨基酸组成及其含量

Table 5 Amino acid compositions and contents of the kernel from upland cotton strains with low gossypol %

品种(系) Variety	苏显无 152 Suxianwu 152	苏显无 154 Suxianwu 154	苏显无 155 Suxianwu 155	苏显无 156 Suxianwu 156	泗抗 1 号 Sikang 1	苏棉 22 号 Sumian 22
天冬氨 Asp	3.92	3.99	3.99	4.07	4.16	4.28
苏氨酸* Thr*	1.34	1.37	1.34	1.37	1.40	1.45
丝氨酸 Ser	1.88	1.92	1.93	1.95	1.93	2.00
谷氨酸 Glu	9.94	10.20	10.34	10.53	10.20	10.81
甘氨酸 Gly	1.84	1.86	1.86	1.89	1.89	1.97
丙氨酸 Ala	1.59	1.62	1.61	1.63	1.67	1.72
半胱氨酸 Cys	0.67	0.70	0.69	0.70	0.67	0.69
缬氨酸* Val*	1.79	1.81	1.84	1.87	1.85	1.95
蛋氨酸* Met*	0.59	0.59	0.58	0.58	0.59	0.54
异亮氨酸* Ile*	1.26	1.27	1.27	1.30	1.32	1.37
亮氨酸* Leu*	2.44	2.48	2.48	2.53	2.49	2.60
酪氨酸 Tyr	1.29	1.32	1.32	1.34	1.28	1.36
苯丙氨酸* Phe*	2.41	2.48	2.51	2.57	2.46	2.60
赖氨酸* Lys*	1.86	1.89	1.86	1.91	1.96	1.98
组氨酸 His	1.22	1.24	1.26	1.28	1.25	1.29
精氨酸 Arg	5.30	5.34	5.46	5.61	5.71	5.86
脯氨酸 Pro	0.80	0.89	0.74	0.80	0.84	0.79
色氨酸* Trp*	0.62	0.64	0.59	0.54	0.60	0.44
总量 Total	40.76	41.61	41.67	42.47	42.27	43.70

注: * 表示人体必需氨基酸。

Note: * mean amino acids necessary for human body.

究其原因在于以下六个方面:(一)低酚棉品种皮棉产量水平较低,一般比当时推广品种减产 5% 左右;(二)抗枯、黄萎病性能较差;(三)双隐性低酚性状易受有酚品种花粉的污染;(四)缺乏对棉花害虫的抗性;(五)老鼠等对低酚棉子的危害严重;(六)未形成低酚棉种仁综合利用的产业链。因此,必须对低酚棉花新品种选育研究重新进行设计,发掘、鉴定并利用显性低酚种质资源作为低酚亲本,通过多亲本杂交聚合优质、高产、低酚、抗病虫等性状,实现棉花纤维和种仁产量、品质与抗逆性的同步改良。

3.2 显性低酚性状对棉花种子性状的影响

低酚棉新品系百粒种仁重均高于有酚棉品种,种仁率比有酚品种明显提高,说明在种仁中棉酚的合成受到抑制以后,促进光合产物向子叶积累,提高了种仁产量。种壳率在低酚棉新品系与有酚品种之间无明显差异,说明种壳是一个保守性状,受其它性状影响的效应值小。短绒是一类未发育成熟的棉纤维,作为优质棉生产和棉子加工的副产品,其主要用途是作为造纸、生产炸药的原料。与种仁的油用、食用价值相比,短绒的开发利用价值相对较低。低酚新品系的短绒率比有酚品种大幅度降低,说明低酚新品系在光合产

物的分配方面建立了经济有效的机制。显性低酚性状转育到陆地棉中,降低了短绒率,提高了种仁率,有利于种仁油用、食用价值的开发利用。

3.3 显性低酚性状对棉花种仁脂肪酸品质和氨基酸品质的影响

显性低酚棉新品系种仁粗脂肪含量与抗虫有酚品种泗抗 1 号相近,明显高于常规有酚品种苏棉 22 号,该结论与韩菊等有关转 Bt 基因抗虫棉种仁营养成分研究结果一致^[13]。显性低酚棉新品系种仁油酸相对含量略低于有酚棉品种,亚油酸、亚麻酸、棕榈油酸相对含量以及不饱和脂肪酸总含量与有酚棉品种处于同一水平,该结论与韩菊等有关低酚棉种仁脂肪酸成分的研究结果相似^[14]。显性低酚性状转育到陆地棉遗传背景中,使种仁粗脂肪含量得到明显提高,未对种仁脂肪酸组成及其相对含量产生不利影响。棉花种仁富含人体必需的 8 种氨基酸,其蛋白质营养价值超过水稻、小麦、玉米、小米等籽粒^[15]。本研究表明,显性低酚性状转育到陆地棉遗传背景中,未对种仁蛋白质的氨基酸组成及其含量产生负效应。

3.4 显性低酚棉新品系种仁利用价值评价

通过多亲本杂交育成的抗虫显性低酚棉新品系,不仅克服了皮棉产量与种仁棉酚含量的正

相关,而且克服了皮棉产量与纤维品质的负相关,实现了优质纤维、高产与抗虫、低酚种仁的遗传聚合。低酚棉种仁可通过以下途径实现综合利用,提高其附加值。首先采用冷榨工艺,对剥壳的低酚种仁进行榨油,其产品无酚棉仁油的营养价值可与橄榄油相媲美;接着将榨油后剩余的棉仁饼充分研磨成棉仁粉,可直接加工成蛋白粉供人类食用;或者按照一定比例与小麦粉混匀加工成面包、蛋糕、面条、饼干等面食,作为食物中人体必需氨基酸的补充成分,必将成为人类优质植物蛋白的重要来源之一^[15]。

参考文献:

- [1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花遗传育种学[M]. 济南:山东科学技术出版社,2009:561-582.
Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese cotton genetics and breeding[M]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Publishing House, 2009: 561-582.
- [2] 祝水金,汪若海,王红梅,等. 低酚棉新品种—中棉所 22[J]. 中国棉花,1994,21(12):23-24.
ZHU Shui-jin, Wang Ruo-hai, Wang Hong-mei, et al. CCRI 22, an upland cotton new cultivar with low gossypol content[J]. China Cotton, 1994, 21(12): 23-24.
- [3] 周安定,薛至祥. 抗病低酚棉晋棉 14 号的选育及应用[J]. 山西农业科学,1994,22(1):29-32.
ZHOU An-ding, Xue Zhi-xiang. Selection, breeding and utilization of Jinmian No.14, an upland cotton new cultivar with *Fusarium* resistance and low gossypol content[J]. J Shanxi Agricultural Sciences, 1994,22(1):29-32.
- [4] 邱新棉. 高产优质抗病低酚棉—浙棉 10 号[J]. 中国农学通报,1995,11(6):50.
QIU Xin-mian. Zhemian 10, an upland cotton new cultivar with high lint yield, good fiber quality, *Fusarium* resistance and low gossypol content[J]. Chinese Agronomy Bulletin, 1995, 11(6): 50.
- [5] 杨效奎,梁小东,黄卫华,等. 皖棉 18 特征特性及高产栽培技术[J]. 安徽农业,2004(11):22.
YAN Xiao-kui, Liang Xiao-dong, Huang Wei-hua, et al. The characteristic, specific property and high-yield culture technique of Wanmian 18, an upland cotton new cultivar with *Fusarium* resistance and low gossypol content[J]. Anhui Agriculture, 2004 (11): 22.
- [6] DOBBS J H, Oakley S R. CPCSD Acala GLS: a glandless cotton variety for the San Joaquin Valley[C]. //Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, San Antonio, January 4-8,2000. Texas:National Cotton Council of USA, 2000, I: 115.
- [7] ROMANO G B, Scheffler J A. Lowering seed gossypol content in the glanded cotton(*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Plant Breeding, 2008, 127(6): 619-624.
- [8] MANSOUR M H, Zohdy N M, El-Gengaihi S, et al. The status of gossypol and tannin contents in some Egyptian cotton cultivars in correlation bollworm infestation[J]. Bulletin of the National Research Centre (Cairo), 2008, 29(1): 121-128.
- [9] 杨艳,王贤磊,李冠. 六种新疆陆地棉棉籽脂肪酸成分分析[J]. 生物技术,2009,19(4):54-56.
YANG Yan, Wang Xian-lei, Li Guan. Analysis on fatty acid composition of six species of upland cotton[J]. Biotechnology, 2009, 19(4): 54-56.
- [10] MCMICHAEL S C. Combined effects of the glandless genes *gl₂* and *gl₃* on pigment glands in the cotton plant[J]. Agron J, 1960, 52: 385-386.
- [11] AFIFI A, Bary A A, Kamel S A, et al. Bahtim 110, a new strain of Egyptian cotton free from gossypol[J]. Emp Cot Grow Rev, 1966, 43(2): 112-120.
- [12] 邱新棉. 试论低酚棉资源及其利用前景[J]. 中国棉花, 2000, 27(2): 7-9.
QIU Xin-mian. The germplasms of low gossypol upland cotton and their utilization prospect[J]. China Cotton, 2000, 27(2):7-9.
- [13] 韩菊,魏福祥,庞津霞,等. 转 *Bt* 基因棉籽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]. Chinese Lipa, 2003, 28(10): 58-60.
- [14] 韩菊,冯冬,何春林,等. 低酚棉籽仁中脂肪酸成分的研究[J]. 分析测试学报,1997,16(2):19-21.
HAN Ju, Fong Dong, He Chun-lin, et al. Study on the composition of fatty acids in glandless cottonseeds[J]. Journal of Instrumental Analysis, 1997, 16(2): 19-21.
- [15] 赵冬冬,刘晓宇. 棉籽蛋白的研究进展[J]. 农产品加工·学刊,2009(5):27-30.
ZHAO Dong-dong, Liu Xiao-yu. Advances of research on cottonseed protein [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009(5): 27-30. ●