

大豆籽粒中脂肪酸组分快速检测方法的比较分析

于福宽, 孙君明, 韩粉霞, 葛一楠, 张晶莹, 马磊, 张金巍, 闫淑荣, 杨华

(中国农业科学院作物科学研究所, 国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081)

摘要:选取脂肪酸组分含量具有显著差异的5份大豆种质为材料, 采用索氏抽提法、改良的籽粒直接甲酯化法和豆粉直接甲酯化法3种方法处理样品, 利用气相色谱(GC)技术分析大豆5种脂肪酸棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸的组分含量, 并对3种样品处理方法进行比较分析。结果显示籽粒直接甲酯化法简便快捷, 适用于低世代的单籽粒或半籽粒的样品量较少情况下测定大豆脂肪酸组成; 豆粉直接甲酯化法适合大量样品的快速检测, 可以避免长时间加热对脂肪酸组分的影响, 测定结果相对准确; 索氏抽提法适合样品量大, 检测精度高, 但样品前处理需要进行油份抽提, 费工费时。精密度检测结果显示, 改良的籽粒直接甲酯化法和豆粉直接甲酯化法与索氏抽提法在检测精度上没有显著差异, 可以用于大豆籽粒的快速脂肪酸含量鉴定。

关键词:大豆; 脂肪酸; 气相色谱法(GC)

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)04-0626-06

Comparison of Three Rapid Gas Chromatograph (GC) Methods for Determination of Fatty Acid Components in Soybean Seeds

YU Fu-kuan, SUN Jun-ming, HAN Fen-xia, GE Yi-nan, ZHANG Jing-ying, MA Lei, ZHANG Jin-wei, YAN Shu-rong, YANG Hua

(Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement (NFCRI), Beijing 100081, China)

Abstract: Five kinds of fatty acid components including palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, were analyzed by the gas chromatograph (GC) method, and three sample handling methods, including Soxhlet extraction, improved seed-methyl esterification and powder-methyl esterification methods, were compared in the five soybean varieties in order to reveal the differentiation among them. The results showed that the seed-methyl esterification method is simple and fast, which is suitable for the determination of single or half of seed in the low generation. The powder-methyl esterification method is relative accurate, which is good to the quick measurement of a great amount of soybean sample and can avoid decomposing the fatty acid components by the heating for long time. The Soxhlet extraction method has an advantage on the precision of analysis, but needs a great quantity of samples, the long time-consuming and lots of work. The test of precision showed that there was no significant different among the three kinds of methods, which demonstrated that both of the improved seed-methyl esterification and the powder-methyl esterification methods can be useful for determining the fatty acid components in soybean seeds.

Key words: Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]; Fatty acids; Gas chromatography (GC)

大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 是世界上主要的油料作物, 大豆油在工业和食品业有着广泛的用途^[1]。在医学界, 大豆被称为21世纪的“维生素”, 含有多种营养成分。大豆磷脂可使胆固醇软化, 生成胆固醇酯, 使胆固醇酯不易沉积在血管壁上, 降低对胆固醇的吸收, 从而起到降血脂, 抑制结肠癌, 预防冠

心病的作用^[2-8]; 大豆油脂中的饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)可导致心血管疾病, 而不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸)有软化血管、降低胆固醇和血压的功能, 有益于人类健康。营养学家认为, 健康的食用油中亚麻酸含量应在3%左右, 但不饱和脂肪酸中的亚麻酸易氧化导致油脂变质^[9]。工业上, 为减

收稿日期: 2011-04-23

基金项目:转基因重大专项资助项目(2008ZX08004-003, 2008ZX08004-004); 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA100104); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD13B05, 2006BAD01A04); 国家自然科学基金资助项目(30000107); 中央公益性科研院所基本科研业务费资助项目(2060302)。

第一作者简介:于福宽(1984-), 男, 在读硕士, 研究方向为大豆脂肪酸的种质鉴定与QTLs标记定位。E-mail: yufukuan@sina.com。

通讯作者:孙君明(1972-), 男, 博士, 研究员, 从事大豆品质分子标记辅助育种研究。E-mail: sunjm@mail.caas.net.cn。

少亚麻酸含量,往往使用脱氢技术以增加亚油酸,降低亚麻酸含量,但该技术会产生对人体有害的顺式脂肪酸^[10-13]。因此,大豆油中脂肪酸组分的配比是衡量大豆油品质优劣的一个重要指标。

在提高大豆油脂品质的过程中,准确测定脂肪酸组分含量具有重要意义。在传统的脂肪酸 GC 测定方法中,前处理主要利用索氏抽提法或二氧化碳临界萃取法^[14-17]提取油份,然后经过甲酯化等处理步骤,其工作程序复杂,不仅耗时,且所需样品量较大。该研究在前人研究基础上,对传统方法进行改良,利用正己烷浸提籽粒或豆粉,采用甲醇钠为甲酯化试剂,酯化反应时间 1 h,离心过滤后即可进行 GC 分析,简化了测定程序,减少工作量和节省时

间,可以对低世代单籽粒或半籽粒进行快速脂肪酸含量检测,加快育种进程。

1 材料与方法

1.1 试验设计

从 248 份大豆微核心种质中选取脂肪酸含量显著差异的 5 份大豆种质,包括白皮黄豆、泗豆 2 号、四粒圆、绥农 1 号和烟黄 3 号(表 1)。利用索氏抽提法、籽粒直接甲酯化和豆粉直接甲酯化 3 种方法处理样品,采用气相色谱(GC)技术分析脂肪酸组分含量,试验设 3 次重复,每重复 3 次进样。利用大豆品种四粒圆为材料,进行 5 次精密度测验。

表 1 五份大豆种质的主要脂肪酸组分含量

Table 1 Content of fatty acid components in five soybean varieties(%)

品种 Variety	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid
白皮黄豆 Baipihuangdou	10.5779	4.2155	22.0734	52.6613	10.4719
泗豆 2 号 Sidou 2	9.4805	5.8692	31.1982	47.0171	6.4349
四粒圆 Siliyuan	11.6675	4.6725	23.1509	51.5309	8.9780
绥农 1 号 Suinong 1	10.4648	4.2929	23.0230	51.5332	10.7028
烟黄 3 号 Yanhuang 3	11.2022	3.7448	19.9882	55.7174	9.6807

1.2 仪器和试剂

仪器型号:万能粉碎机 SP-100(浙江省永康市金穗机械制造厂)、B-811 索氏提取器(瑞士 BÜCHI 公司);GC-2010 气相色谱仪(日本岛津公司);自动进样器(AOC-5000)(日本岛津公司)。

试剂:脂肪酸标准样品棕榈酸(Palmitic acid 分析纯 > 98.5%)、硬脂酸(Stearic acid 分析纯 > 99%)、油酸(Oleic acid 分析纯 > 99%)、亚油酸(Linoleic acid 分析纯 > 98.5%)和亚麻酸(Linolenic acid 分析纯 > 99%),购于美国 SIGMA 公司;正己烷(色谱纯 > 99.9%)购于天津市科密欧化学试剂有限公司;甲醇(分析纯 > 99%)、石油醚(分析纯 > 99%)和醋酸(分析纯 > 99%)均购于北京化工厂。采用正己烷对 5 种脂肪酸标准样品进行稀释至 0.05 mol · L⁻¹。

1.3 样品处理方法

1.3.1 传统索氏提取法 用万能粉碎机将大豆材料粉碎,准确称取 5 g 大豆粉末,包裹在滤纸中,置于索氏提取器的样品杯中,在样品杯中加入 150 mL 石油醚,反复提取油脂约 3 h 后,抽取油脂于 2 mL 冻存管中 4℃ 保存。吸取 30 μL 大豆油置于 2 mL 离心管中,甲酯化方法参照 GB/T1737621998,取上清液过滤,上样 GC 检测。

1.3.2 籽粒直接甲酯化法 取大豆籽粒 1 ~ 5 粒,用解剖刀沿着远离大豆种子胚芽部分将豆粒切开,将带有胚芽的种子编号保存,将无胚芽的子叶置于 2 mL 离心管中,加入 1.5 mL 正己烷,隔夜放置,7 000 r · min⁻¹离心 5 min;加入 350 μL 甲醇钠溶液,置于摇床上反应 1 h,7 000 r · min⁻¹离心 5 min,吸取上清液过滤,上样 GC 检测。

1.3.3 豆粉直接甲酯化法 取豆粉 0.5 g 置于 2 mL 离心管中,加入 1.5 mL 正己烷,隔夜放置,7 000 r · min⁻¹离心 5 min,加入 350 μL 甲醇钠溶液,置于摇床上反应 1 h,7 000 r · min⁻¹离心 5 min,吸取上清液,过滤后上样 GC 检测。

1.4 GC 分析条件

色谱柱:RTX-Wax(30m × 0.25 × 0.25);进样量:1 μL;采用分流进样,分流比:50:1;进样口温度:250℃;载气:氮气,54 mL · min⁻¹;氢气,40 mL · min⁻¹;空气,400 mL · min⁻¹;采取程序升温的方式:180℃ 保持 1.5 min,以 10℃ · min⁻¹升到 210℃,保持 2 min,然后以 5℃ · min⁻¹升到 220℃ 保持 5 min;检测器:火焰离子检测器(FID),温度为 300℃;每个样品检测 20 min。

1.5 统计分析

在岛津 GC2010 气相色谱仪工作站上采用面积

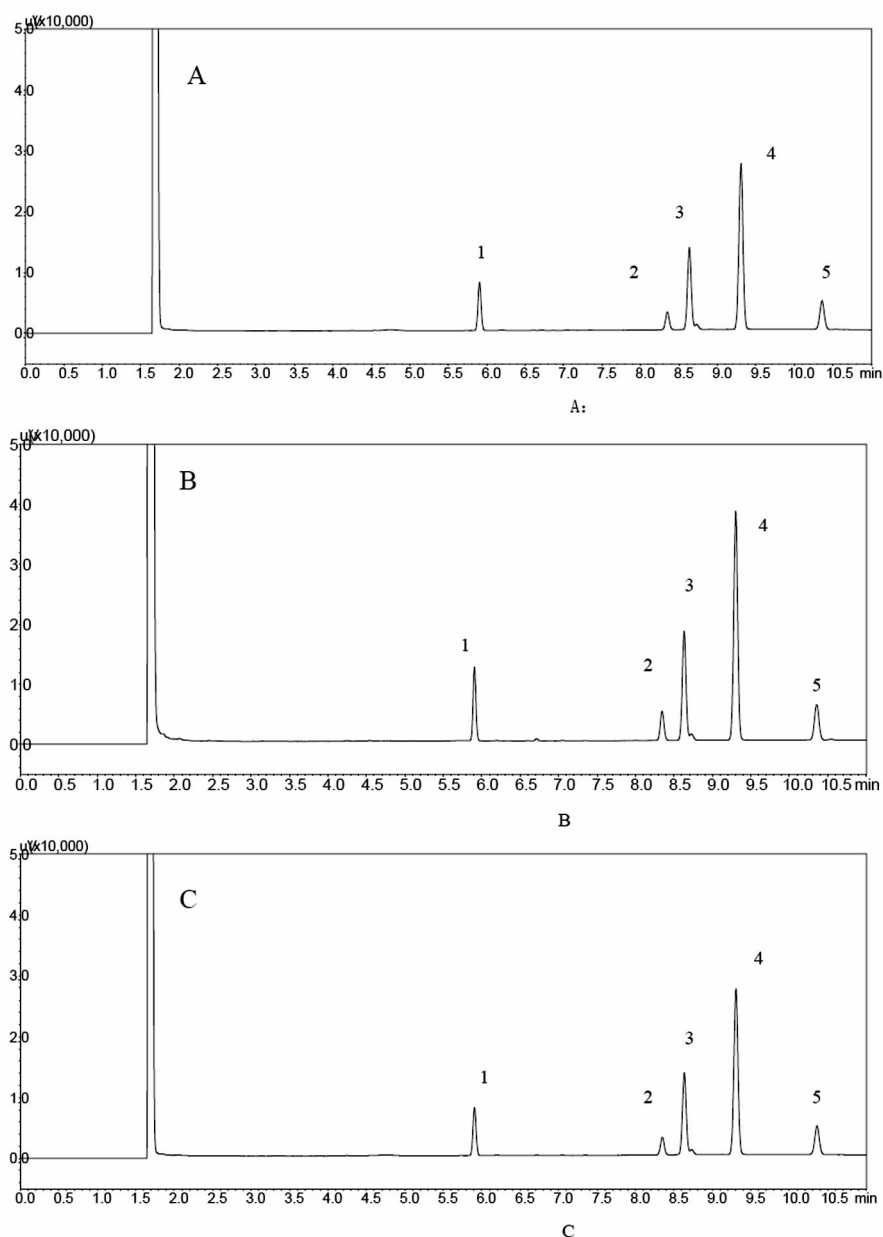
归一化法计算 5 种脂肪酸组分的百分含量;利用 SAS9.1 分析软件进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 大豆脂肪酸组分的定性与定量检测

采用气相色谱(GC)技术结合 5 种脂肪酸组分

标准样品(棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸)可以清晰定性检测出大豆籽粒中 5 种主要脂肪酸组分(图 1)。其 5 个色谱峰的所代表的脂肪酸组分依次是棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸,保留时间分别为 5.89、8.33、8.625、9.301 和 10.34 min。



A:豆粉直接甲酯化法;B:籽粒直接甲酯化法;C:索氏抽提法;

峰 1:棕榈酸;峰 2:硬脂酸;峰 3:油酸;峰 4:亚油酸;峰 5:亚麻酸。

A: The method of powder-methyl esterification; B: The method of seed-methyl esterification; C: Soxhlet extraction

Peak1: Palmitic acid; Peak 2: Stearic acid; Peak 3: Oleic acid; Peak 4: Linoleic acid; Peak 5: Linolenic acid.

图 1 大豆脂肪酸组分的气相色谱分析图

Fig. 1 The gas chromatography profile of soybean fatty acid components

表 2 三种样品处理方法检测五份大豆种质的脂肪酸组分含量的方差分析

Table 2 Analysis of variance of fatty acid component in the three handling methods in five soybean varieties								
脂肪酸组分	方法	平均值	变异幅度	最大值	最小值	方差	变异系数	<i>t</i> 值
FA components	Method	Average	Range	Max	Min	Variance	CV%	<i>t</i> value
棕榈酸 Palmitic acid	MS	11.3683	2.2985	12.3198	10.0213	0.6769	7.2369	53.52
	MP	11.5718	2.4642	12.7121	10.2479	0.5088	6.1644	62.83
	SE	11.4775	1.9739	12.3472	10.3733	0.5697	6.5762	58.89
硬脂酸 Stearic acid	MS	4.6824	3.2259	6.5583	3.3324	1.1097	22.4972	17.22
	MP	4.8579	3.1658	6.6833	3.5175	1.2188	22.7254	17.04
	SE	4.7060	2.5581	6.2858	3.7277	0.8502	19.5930	19.77
油酸 Oleic acid	MS	24.7808	10.6637	30.2689	19.6052	14.9516	15.6037	24.82
	MP	24.1081	12.9444	32.5482	19.6038	15.8082	16.4922	23.48
	SE	24.9741	10.5024	30.2736	19.7712	15.3851	15.7058	24.66
亚油酸 Linoleic acid	MS	50.4271	7.9693	55.2939	47.3246	8.6565	5.8345	66.38
	MP	50.7506	10.2725	56.5651	46.2926	9.5446	6.0875	63.62
	SE	50.1642	9.1243	55.1579	46.0336	9.7987	6.2401	62.07
亚麻酸 Linolenic acid	MS	8.8966	2.9702	9.8155	6.8453	1.2762	12.6981	30.50
	MP	8.7183	4.9542	10.6085	5.6543	1.9607	16.0610	24.11
	SE8.7915	3.4731	9.8735	6.4004	1.3790	13.3575	28.99	

方法 MS、MP 和 SE 分别代表豆粉直接甲酯化法、籽粒直接甲酯化法和索氏抽提法,下表同。
Methods MS,MP and SE represent the powder-methyl esterification method,the seed-methyl esterification method and the Soxhlet extraction method , respectively,the same as below.

表 3 三种大豆脂肪酸检测方法的差异显著性分析

Table 3 The significant test for the three handling methods in soybean fatty acid components										
品种 Variety	脂肪酸组分 FA components	自由度 <i>df</i>	显著性分析($P<0.05$)			显著性分析($P<0.01$)			<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
			MS	MP	SE	MS	MP	SE		
白皮黄豆 Baipihuangdou	棕榈酸 Palmitic acid	2	a	b	b	A	B	B	29.40	<0.001
	硬脂酸 Stearic acid	2	a	a	a	A	A	A	2.06	0.209
	油酸 Oleic acid	2	a	b	b	A	A	A	7.07	0.026
	亚油酸 Linoleic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.57	0.593
	亚麻酸 Linolenic acid	2	a	b	b	A	B	B	14.41	<0.001
泗豆 2 号 Sidou 2	棕榈酸 Palmitic acid	2	a	a	a	A	A	A	2.36	0.175
	硬脂酸 Stearic acid	2	a	a	a	A	A	A	1.98	0.219
	油酸 Oleic acid	2	a	a	a	A	A	A	1.80	0.245
	亚油酸 Linoleic acid	2	a	b	b	A	A	A	5.22	0.049
	亚麻酸 Linolenic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.46	0.652
四粒圆 Siliyuan	棕榈酸 Palmitic acid	2	a	b	b	A	B	B	90.13	<0.001
	硬脂酸 Stearic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.05	0.949
	油酸 Oleic acid	2	a	b	b	A	A	A	4.71	0.059
	亚油酸 Linoleic acid	2	a	a	a	A	A	A	2.43	0.169
	亚麻酸 Linolenic acid	2	a	b	b	A	A	A	4.47	0.065
绥农 1 号 Suinong 1	棕榈酸 Palmitic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.38	0.702
	硬脂酸 Stearic acid	2	a	ab	b	A	A	B	23.55	<0.001
	油酸 Oleic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.51	0.626
	亚油酸 Linoleic acid	2	a	ab	a	A	A	A	4.14	0.074
	亚麻酸 Linolenic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.39	0.693
烟黄 3 号 Yanhuang 3	棕榈酸 Palmitic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.48	0.639
	硬脂酸 Stearic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.20	0.822
	油酸 Oleic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.57	0.593
	亚油酸 Linoleic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.01	0.990
	亚麻酸 Linolenic acid	2	a	a	a	A	A	A	0.66	0.549

2.2 不同样品处理方法的脂肪酸含量比较

通过采用 3 种不同的脂肪酸含量检测方法对 5 份脂肪酸含量显著不同的大豆种质的脂肪酸组分

含量进行检测分析,发现在 3 种检测方法中硬脂酸的变异系数最高,变异范围在 19.59%~22.72%,亚油酸的变异系数最低,变异范围在 5.83%~6.24%(表 1),表明大豆籽粒中的 5 种脂肪酸组分以亚油

酸含量相对最稳定,棕榈酸次之,而硬脂酸含量最不稳定。

由表 2 和表 3 可知,利用豆粉直接甲酯化法与索氏抽提法测定的脂肪酸组分含量差异不显著,表明 2 种方法的准确度基本一致;而籽粒直接甲酯化法与其它 2 种方法比较差异达显著水平,表明籽粒直接甲酯化法由于单籽粒的取样误差导致不同大

豆籽粒间脂肪酸组分含量存在显著差异。

2.3 不同大豆脂肪酸组分含量检测方法的精密度

采用大豆种质四粒圆为材料,对 3 种脂肪酸检测方法进行 5 次平行试验(表 4),结果显示在 5 次平行试验中改良法测定的脂肪酸组分含量的变异系数相近,差异不显著,说明籽粒直接甲酯化法与豆粉直接甲酯化法的脂肪酸检测精确度普遍较高。

表 4 三种大豆脂肪酸组分含量检测方法的精密度测验

Table 4 The precision test for the three handling methods in soybean fatty acid components

组分名称	方法	进针次数	平均值	最大值	最小值	变异幅度	方差	变异系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
Name	Method	Time	Average	Max	Min	Range	Variance	CV%	<i>t</i> value	<i>P</i> value
棕榈酸	MS	5	12.0939	12.1647	12.0467	0.1180	0.0029	0.4418	506.10	<0.01
Palmitic acid	MP	5	11.5695	11.8208	11.3243	0.4965	0.0029	1.8115	123.44	<0.01
	SE	5	12.4011	12.5062	12.0876	0.4186	0.0313	1.4267	156.73	<0.01
硬脂酸	MS	5	4.7961	4.8264	4.7396	0.0868	0.0015	0.8104	275.91	<0.01
Stearic acid	MP	5	4.5827	4.8844	4.4434	0.4410	0.0015	4.2677	52.39	<0.01
	SE	5	4.8222	4.9108	4.7668	0.1440	0.0035	1.2239	182.69	<0.01
油酸	MS	5	23.7864	23.869	23.6032	0.2658	0.0125	0.4704	475.37	<0.01
Oleic acid	MP	5	22.5544	22.8836	22.3572	0.5264	0.0125	0.9449	236.65	<0.01
	SE	5	23.0169	23.0637	22.9565	0.1072	0.0019	0.1877	1191.34	<0.01
亚油酸	MS	5	50.2293	50.7044	50.0203	0.6841	0.0866	0.5859	381.66	<0.01
Linoleic acid	MP	5	50.8059	51.0255	50.6782	0.3473	0.0866	0.2979	750.63	<0.01
	SE	5	50.3244	50.6887	50.164	0.5247	0.0435	0.4146	539.30	<0.01
亚麻酸	MS	5	9.8942	9.9893	9.7921	0.1972	0.0080	0.9024	247.80	<0.01
Linolenic acid	MP	5	10.5156	10.7878	9.8812	0.9066	0.0080	3.4620	64.59	<0.01
	SE	5	9.4355	9.5119	9.3904	0.1215	0.0022	0.5002	447.07	<0.01

3 讨 论

大豆脂肪酸组分含量的精确测定对于品质鉴定和 QTL 分子标记具有重大意义。以往人们普遍使用的方法是利用索氏提取器提取籽粒中的油脂,经过一系列甲酯化步骤后进样测试。前人在简化脂肪酸组分测定的程序方面进行了探索,孙君明等^[18]、柴玉华等^[19]利用近红外光谱分析技术创建了快速测定脂肪酸组分的检测模型;张颖君等^[20]对传统索氏抽提法进行了优化,仅用 0.04 g 籽粒中子叶的一部分便可进行脂肪酸测定,大大节省了检测时间和样品用量。

该文在前人的研究基础上对大豆脂肪酸组分含量的检测方法进行了探索,提出了 2 种改良的样品处理方法,与传统的索氏抽提法相比具有一定的优势,其简化了大豆油脂的提取程序,缩短了检测所需时间,节省了试验费用,减少了工作量。经过改良的 2 种检测方法仅需要正己烷和甲醇钠 2 种试

剂,且与索氏抽提法相比,所需的样品检测量较少;豆粉直接甲酯化法有效避免了检测样品的取样误差和长时间加热处理对脂肪酸组分的影响,测得结果更加接近真实值,此法可应用于多种油料植物的脂肪酸组分含量的测定;而籽粒直接甲酯化法由于不同大豆籽粒间脂肪酸组分含量存在差异,导致脂肪酸检测结果中存在取样误差,因此该方法适用于低世代分离群体的单籽粒或半籽粒检测分析。

参考文献

- [1] Panthee D R, Pantalone V R, Saxton A M. Modifier QTL for fatty acids composition in soybean oil[J]. Euphytica, 2006, 152: 67-73.
- [2] 郑永战, 盖钧镒, 赵团结, 等. 中国大豆栽培和野生资源脂肪性状的变异特点研究[J]. 中国农业科学, 2003, 41(5): 1283-1290. (Zheng Y Z, Gai J Y, Zhao T J, et al. A study on variability of fat-related traits in cultivated and wild soybean germplasm in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 41(5): 1283-1290.)
- [3] 刘兴媛, 胡传璞, 季玉玲. 中国大豆种质资源的脂肪酸组成分析[J]. 作物品种资源, 1998(2): 40-42. (Liu X Y, Hu C P, Ji Y L. Analysis of the fatty acid components of soybean seeds in China

- [J]. Crop Germplasm and Resources, 1998(2):40-42.)
- [4] 徐杰, 胡国华, 张大勇, 等. 大豆籽粒发育过程中脂肪酸组分的累积动态[J]. 作物学报, 2006, 32(11):1759-1763. (Xu J, Hu G H, Zhang D Y, et al. Dynamic accumulation of fatty acids in grain maturing process of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(11):1759-1763.)
- [5] 胡超越, 王振民. 大豆油脂脂肪酸含量与主要农艺性状的遗传相关及通径分析[J]. 大豆科学, 2006, 25(1):18-21. (Hu C Y, Wang Z M. Genetic correlation and path-coefficient of important oil fatty acid content with the major agronomic characters in soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(1):18-21.)
- [6] 何志鸿, 姚纯, 林红. 黑龙江省大豆化学品质生态地理分布 I. 野生大豆化学品质生态地理分布[J]. 东北农学院学报, 1988, 19(3):237-245. (He Z H, Yao Z C, Lin H. Study on ecology-geographical distribution divisions of soybean chemical quality in Heilongjiang province I. The ecology-geographical distribution of chemical quality of *Glycine soja* [J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1988, 19(3):237-245.)
- [7] 吕景良, 邵荣春, 吴百灵, 等. 东北地区大豆品种资源脂肪酸组成的分析研究[J]. 作物学报, 1990, 16(4):349-351. (Lv J L, Shao R C, Wu B L, et al. Studies on the fatty acid composition of soybean germplasm resources in northeast China[J]. Acta Agronomica Sinica, 1990, 16(4):349-351.)
- [8] 李爱萍, 王曙明, 胡明祥, 等. 大豆不同杂交组合 F₂ 油分含量分布及其遗传变异[J]. 中国油料, 1992(2):12-13. (Li A P, Wang S M, Hu M X. Genetic variation of soybean content of different F₂ populations[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1992(2):12-13.)
- [9] Spencer M M, Landau-Ellis D, Meyer E J, et al. Molecular markers associated with linolenic acid content in soybean[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2004, 81:559-562.
- [10] Robert G, Upchurch, Martha E Ramirez. Gene expression profiles of soybeans with mid-oleic acid seed phenotype[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87:857-864.
- [11] Richard F Wilson, Burton J W, Brim C A. Progress in the selection for altered fatty acid composition in soybean[J]. Crop Science, 1981, 21:788-791.
- [12] Martin B A, Rinne R W. Relationship between fatty acid composition of vegetative and reproductive structures of six soybean genotypes[J]. Crop Science, 1985, 25:1055-1058.
- [14] 王宁惠. 油菜籽中脂肪酸含量的气相色谱分析[J]. 青海农林科技, 2006(4):35-36. (Wang N H. Analysis of fatty acid components by gas chromatography in rape seeds[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2006(4):35-36.)
- [15] 师治贤, 刘梅, 胡凤祖, 等. 青藏茶子种子中的脂肪酸含量分析[J]. 西北植物学报, 2004, 4(1):149-151. (Shi Z X, Liu M, Hu F Z, et al. Analysis on fatty acids in seeds of *Ribes Qingzang* [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(1):149-151.)
- [16] 王晓燕, 张彩英, 贾晓艳. 河北省大豆品种脂肪酸组成与含量分析[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(2):15-18. (Wang X Y, Zhang C Y, Jia X Y. Analysis of fatty acids composition and content in soybean varieties in Hebei province[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2007, 30(2):15-18.)
- [17] 崔昌浩, 田晶, 徐龙权. 气相色谱法在检测细胞脂肪酸及菌种鉴定中的应用[J]. 大连轻工业学院学报, 2007, 26(2):104-107. (Cui C H, Tian J, Xu L Q. Application of gas chromatography in identification of bacteria by analyzing fatty acid in cells[J]. Journal of Dalian Institute of Light Industry, 2007, 26(2):104-107.)
- [18] 孙君明, 韩粉霞, 闫淑荣, 等. 傅里叶近红外反射光谱法快速测定大豆脂肪酸含量[J]. 光谱学与光谱学分析, 2008, 28(6):1290-1295. (Sun J M, Han F X, Yan S H, et al. Rapid determination of fatty acids in soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.] by FT-Near-Infrared Reflectance Spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(6):1290-1295.)
- [19] 柴玉华, 谭克竹. 基于近红外分析技术检测大豆脂肪酸含量的研究[J]. 农业工程报, 2007, 23(1):238-241. (Cai Y H, Tan K Z. Measurement of soybean fatty acid content by infrared spectroscopy[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(1):238-241.)
- [20] 张颖君, 高慧敏, 蒋春志, 等. 大豆种子脂肪酸含量的快速测定[J]. 大豆科学, 2008, 27(5):859-862. (Zhang Y J, Gao H M, Jiang C Z, et al. Fast Analysis on fatty acids of soybean seed by gas chromatography[J]. Soybean Science, 2008, 27(5):859-862.)