

## 便携式高油酸花生鉴定仪的研制

淮东欣<sup>1</sup>, 吴洁<sup>1</sup>, 薛晓梦<sup>1</sup>, 刘芳<sup>2</sup>, 胡美玲<sup>1</sup>, 晏立英<sup>1</sup>, 陈玉宁<sup>1</sup>, 王欣<sup>1</sup>, 康彦平<sup>1</sup>, 王志慧<sup>1</sup>, 刘念<sup>1</sup>,  
姜慧芳<sup>1</sup>, 雷永<sup>1\*</sup>, 廖伯寿<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院油料作物研究所/农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 湖北 武汉, 430062;  
2. 全国农业技术推广服务中心, 北京, 100125)

**摘要:**高油酸花生以其营养价值高、储藏期长等优点深受消费者和加工企业的喜爱。但是,高油酸花生和普通油酸花生并不能直观区分,必须借助仪器检测油酸含量。其中,气相色谱仪和近红外光谱仪是目前最常用的两类仪器,但是体积大、质量重、造价高,而且需要专业实验室和专业人员操作,限制了其在中小型花生生产和加工企业中的应用。本研究基于花生油折光指数与温度( $R^2=0.999$ )和油酸含量( $R^2=0.802$ )显著负相关的原理,建立了利用折光指数鉴定高油酸花生的数学模型,并研发了一款便携式高油酸花生鉴定仪。利用该仪器检验了30个花生品系是否为高油酸花生,鉴定结果均与其油酸含量化学值相一致,准确率为100%。该仪器的研制填补了快速、低价、便携式高油酸花生检测仪的空白,为促进高油酸花生产业发展提供了一种简便易行的检测设备。

**关键词:**花生;折光指数;温度;油酸含量

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1007-9084(2021)06-1150-09

### Development of a portable instrument for identifying high oleate peanut

HUAI Dong-xin<sup>1</sup>, WU Jie<sup>1</sup>, XUE Xiao-meng<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>2</sup>, HU Mei-ling<sup>1</sup>, YAN Li-ying<sup>1</sup>, CHEN Yu-ning<sup>1</sup>,  
WANG Xin<sup>1</sup>, KANG Yan-ping<sup>1</sup>, WANG Zhi-hui<sup>1</sup>, LIU Nian<sup>1</sup>, JIANG Hui-fang<sup>1</sup>, LEI Yong<sup>1\*</sup>, LIAO Bo-shou<sup>1\*</sup>  
(1. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; 2. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

**Abstract:** High oleate peanut is increasingly in favor of peanut customers and processing enterprises, due to its high nutritional value and prolonged shelf-life. However, it is hard to visually distinguish high oleate peanut from normal oleate peanut. Currently, identification of high oleate peanut is mainly dependent on gas chromatograph and near infrared spectrometer, which are normally large-sized, heavy and costly in use. As specialized laboratories and professional technician are needed, so that these facilities are less applicable for small peanut production and processing enterprises. Based on the negative correlation between refractive index of peanut oil and temperature ( $R^2=0.999$ ), as well as oleic acid content ( $R^2=0.802$ ), this study established a model of high oleate peanut identification using refractive index and developed a portable instrument for identifying high oleate peanut. Thirty peanut lines were identified by this instrument, and the result for each line was consistent with its oleic acid content from gas chromatograph. The accuracy of this instrument was 100%. The development of this portable instrument filled the blank market of economic and removable apparatus for identifying high oleate peanut. This portable instrument provided not only a quick, cheap and easy way to identify high oleate peanut, but also a technical support for promoting the development of high oleate peanut industry.

**Key words:** peanut; refractive index; temperature; oleic acid content

收稿日期:2021-01-23

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1000901);广东省重点领域研发计划(2020B020219003);中国农业科学院科技创新工程

作者简介:淮东欣(1985-),女,副研究员,博士,研究方向:花生脂肪酸改良,E-mail: dxhuai@caas.cn

\* 通讯作者:廖伯寿(1963-),男,研究员,研究方向:花生遗传育种,E-mail: lboshou@hotmail.com;

雷永(1972-),男,研究员,研究方向:花生遗传育种,E-mail: leiyong@caas.cn

花生是世界范围内重要的经济和油料作物之一,我国是世界最大的花生生产和消费国,总产量和消费量多年来占全球的近40%。在国内大宗油料作物中,花生的总产、单产、单位面积产油量、种植业效益和国际竞争力均具有明显优势<sup>[1]</sup>。脂肪酸组成是影响花生及其加工产品品质的重要因素。高油酸花生是指所含脂肪酸成分中油酸含量超过75%的花生<sup>[2]</sup>,与普通花生相比,高油酸花生中油酸含量显著提高,而亚油酸和棕榈酸含量显著降低,具有更好的氧化稳定性和更高的营养保健价值<sup>[3-5]</sup>。因此,高油酸花生越来越受到广大消费者和花生加工企业的喜爱。

花生高油酸性状是由于两个编码 $\Delta 12$ -脂肪酸脱氢酶(fatty acid desaturase 2, FAD2)的基因*AhFAD2A*和*AhFAD2B*同时发生隐性突变造成酶活性丧失而引起的<sup>[6-8]</sup>。 $\Delta 12$ -脂肪酸脱氢酶在油酸C12与C13之间引入一个双键,催化油酸转化为亚油酸,所以FAD2酶活性的丧失会引起油酸的积累<sup>[9-12]</sup>。在高油酸花生中,*AhFAD2A*基因的编码区第448位碱基发生了替换(G:C→A:T),导致天冬氨酸突变为天冬酰胺;同时,*AhFAD2B*基因的编码区第442位插入了一个碱基(A:T),造成了移码突变<sup>[13-15]</sup>。由于这些遗传基础的改变难以通过肉眼辨别,而且高油酸花生与普通油酸花生在外观上没有差别,必须借助仪器加以区分,从而为高油酸花生的鉴定带来了困难。

目前,高油酸花生的鉴定方法主要包括气相色谱法、近红外光谱法和基因型检测法。气相色谱法是利用气相色谱仪检测花生中油酸的含量,是最精确、可靠的方法<sup>[16,17]</sup>。近红外光谱法通过建立油酸含量的近红外模型预测花生样品的油酸含量,需要借助近红外光谱仪来完成检测<sup>[18-20]</sup>。但是,这些仪器价格均在20万元以上,体积大、质量重,不易移动且检测成本高。基因型检测法是依据*AhFAD2A*和*AhFAD2B*基因的突变位点检测未知样品基因型的方法,主要是利用分子标记开展检测<sup>[21-24]</sup>,操作较为繁琐,同样需要依赖专业仪器,对操作人员的专业知识要求也较高。然而,随着高油酸花生大面积推广应用,这一类产品的检测不再局限于科研单位和大型企业,许多中小型花生种子生产企业及收购企业也需要对其高油酸花生的真伪进行鉴定,但是上述仪器均价格昂贵,限制了其在中小型花生生产、加工企业的应用。

利用折光仪测定花生油的折光指数进而估算

油酸含量,是一种操作简单、费用低廉且可以快速鉴定高油酸花生的方法。已有研究表明,植物油的折光指数与其含有脂肪酸的碳链长度和不饱和程度相关,且花生油的折光指数与其油酸含量显著负相关<sup>[25,26]</sup>。基于上述原理,本研究系统分析了花生油折光指数与温度、油酸含量的关系,建立了依据折光指数鉴定高油酸花生的数学模型,并将其植入数字显示折光仪中,成功研发出了一款便携式高油酸花生鉴定仪。这款仪器的成本在1万元以内,大幅降低了高油酸花生检测费用,且其体积小、质量轻、易移动,检测可在5分钟内完成,对测试环境及条件要求低,可以实现花生样品的准确、快速、低成本、易操作检测。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 植物材料 建立花生油折光指数与温度和油酸含量数学模型的标准样品集来源于50份花生种质材料,折光指数模型的外部验证样品集包含30份花生种质材料,以上材料均由中国农业科学院油料作物研究所花生遗传育种创新团队提供。

1.1.2 仪器与设备 Agilent 7890B气相色谱仪,美国Agilent公司;A670温控全自动折光仪,济南海能仪器股份有限公司;便携式高油酸花生鉴定仪,中国农业科学院油料作物研究所。

### 1.2 方法

1.2.1 花生油样品的制备 在室温( $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ )下,每份花生材料取2~3粒种子,利用液压钳(ZUPPER YQK-300,台州巨力工具股份有限公司)将其中的油脂压榨出来,使用 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 的滤膜(直径13 mm,天津市津腾实验设备有限公司)过滤花生油,将过滤后的油样装入2 mL离心管中,备用。

1.2.2 花生油样品化学值的测定 称取约10 mg花生油样品,加入1.5 mL 2.5%硫酸-甲醇溶液,再加入0.35 mL甲苯, $90^{\circ}\text{C}$ 孵育40 min,进行甲酯化反应;再加入1 mL正己烷和1 mL ddH<sub>2</sub>O,振荡混匀;在4000 r/min的条件下离心10 min,取上层有机溶剂装入进样瓶,进行气相色谱(gas chromatograph, GC)分析。

气相色谱分析条件:色谱柱为DB-23毛细管柱( $30\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ ,美国Agilent公司),载气为氮气(N<sub>2</sub>),检测器为氢离子火焰化检测器(FID),进样口温度为 $280^{\circ}\text{C}$ ,进样口压力为 $1.7\times 10^5\text{ Pa}$ ,进样量为1.0  $\mu\text{L}$ ,分流比为1:40。升温程

序:起始温度为 180℃,保持 1 min;以 10℃/min 升温至 220℃,保持 9 min。以保留时间来定性脂肪酸,采用峰面积归一化法计算各种脂肪酸的相对含量。

1.2.3 花生油样品折光指数的测定 取 0.4 mL 花生油样品滴入温控折光仪的滴液槽,盖上遮光盖,设定检测温度,并在温度达到设定温度后,读取折光指数,每个样品重复 3 次。

1.2.4 花生油折光指数与温度模型的建立 分别选取普通油酸和高油酸花生油样品各 3 份,利用温控折光仪分别测定其在 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃以及 40℃下的折光指数,每个样品测 3 次,取平均值作为该样品的折光指数。利用 Excel 2016 软件对每个花生油样品的折光指数和温度分别建立线性方程。

1.2.5 花生油折光指数与油酸含量模型的建立 以 20℃为标准温度,在 20℃下分别收集 50 份花生油样品的折光指数,每个样品测 3 次重复,取平均值。利用 Excel 2016 软件对花生油样品的折光指数和其

油酸含量建立线性方程。

1.2.6 高油酸花生鉴定模型的外部验证 选取 30 份花生种质材料的饱满种子,用液压钳榨取其花生油为待测样品,并分别使用 2 台本研究开发的仪器鉴定其是否为高油酸花生,记录仪器的鉴定结果;再利用气相色谱法分析每份待测油样的油酸含量,比较每个样品的仪器鉴定结果与 GC 化学值的相关性和准确性。

## 2 结果与分析

### 2.1 花生油样品油酸含量化学值的测定

共检测了来自 50 份花生种质材料的花生油样品的油酸含量(表 1),其中 34 份为普通油酸花生材料,其油酸含量变异范围为 39.49%~62.72%,油酸含量在 45%以下的材料共 9 份,45%~50%的材料共 8 份,50%~55%的材料共 4 份,55%~60%的材料共 8 份,60%~65%的材料共 5 份。高油酸花生材料共 16 份,其油酸含量变异范围为 78.91%~81.65%。本研

表 1 建立数学模型使用的花生种子的油酸含量

Table 1 The oleic acid content in peanut seeds used for modeling

| 样品编号<br>No. | 油酸含量<br>Oleic acid content / % | 样品编号<br>No. | 油酸含量<br>Oleic acid content / % |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| RI-01       | 61.94                          | RI-26       | 56.46                          |
| RI-02       | 46.11                          | RI-27       | 54.06                          |
| RI-03       | 42.51                          | RI-28       | 55.40                          |
| RI-04       | 41.71                          | RI-29       | 54.71                          |
| RI-05       | 46.20                          | RI-30       | 44.37                          |
| RI-06       | 51.60                          | RI-31       | 57.53                          |
| RI-07       | 56.29                          | RI-32       | 58.56                          |
| RI-08       | 45.64                          | RI-33       | 57.70                          |
| RI-09       | 44.97                          | RI-34       | 60.07                          |
| RI-10       | 43.60                          | RI-35       | 80.91                          |
| RI-11       | 51.85                          | RI-36       | 80.76                          |
| RI-12       | 39.49                          | RI-37       | 79.38                          |
| RI-13       | 48.98                          | RI-38       | 78.92                          |
| RI-14       | 62.42                          | RI-39       | 80.68                          |
| RI-15       | 58.64                          | RI-40       | 79.65                          |
| RI-16       | 42.84                          | RI-41       | 79.45                          |
| RI-17       | 59.92                          | RI-42       | 81.12                          |
| RI-18       | 62.72                          | RI-43       | 81.21                          |
| RI-19       | 49.21                          | RI-44       | 80.02                          |
| RI-20       | 40.70                          | RI-45       | 81.65                          |
| RI-21       | 45.34                          | RI-46       | 79.38                          |
| RI-22       | 43.55                          | RI-47       | 80.14                          |
| RI-23       | 60.52                          | RI-48       | 81.58                          |
| RI-24       | 46.47                          | RI-49       | 79.12                          |
| RI-25       | 45.64                          | RI-50       | 78.91                          |

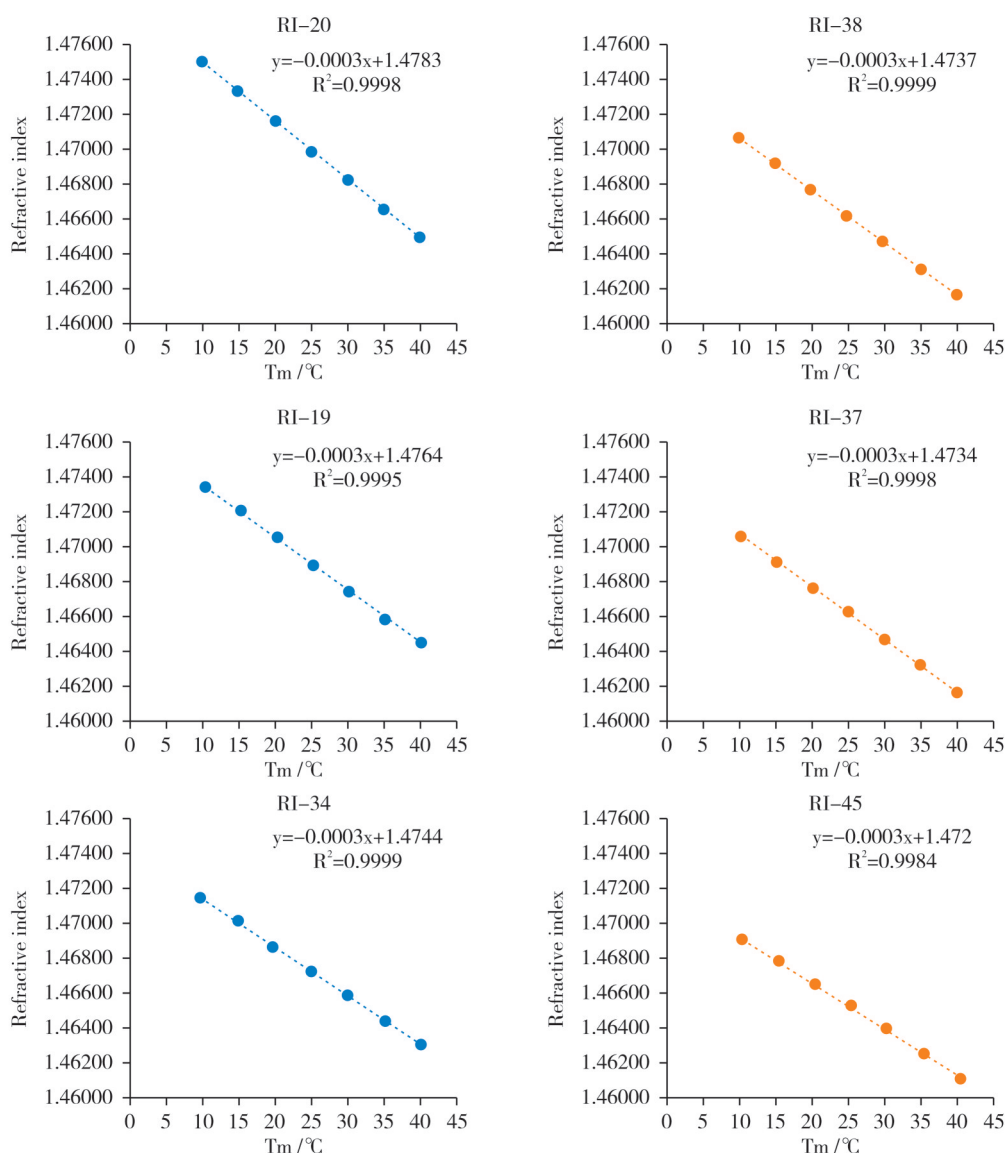
究选取的花生材料油酸含量变异范围广且分布均匀,具有代表性,满足建立折光指数模型的要求。

## 2.2 花生油折光指数与温度模型的建立

温度是影响花生油折光指数的重要因素之一<sup>[27]</sup>,据此本研究系统分析了温度对普通油酸花生油和高油酸花生油折光指数的影响,分别检测了普通油酸花生油 RI-20、RI-19 和 RI-34(油酸含量分别为 40.70%、49.21% 和 60.07%)和高油酸花生油 RI-38、RI-37 和 RI-45(油酸含量分别为 78.92%、79.38% 和 81.65%)在 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃以及 40℃下的折光指数。结果表明,无论普通

油酸花生油还是高油酸花生油,其折光指数均与温度显著负相关( $R^2=0.999$ )(图 1)。

当温度为 10℃时,普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.47155~1.47499,而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46918~1.47062;当温度为 15℃时,普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.47019~1.47332,而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46797~1.46918;当温度为 20℃时,普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46871~1.47162,而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46661~1.46772;当温度为 25℃时,普通油酸花生



注:RI-20、RI-19 和 RI-34 为普通油酸花生油样品,其油酸含量分别为 40.70%、49.21% 和 60.07%;RI-38、RI-37 和 RI-45 为高油酸花生油样品,其油酸含量分别为 78.92%、79.38% 和 81.65%

Note: RI-20, RI-19 and RI-34 are normal oleate peanut oil samples, and the contents of oleic acid of which are 40.70%, 49.21% and 60.07%, respectively. RI-38, RI-37 and RI-45 are high oleate peanut oil samples, and the contents of oleic acid of which are 78.92%, 79.38% and 81.65%, respectively

图 1 温度与普通油酸和高油酸花生油折光指数的相关性

Fig. 1 Correlation coefficient between temperature and refractive index of normal oleate and high oleate peanut oil

油的折光指数变异范围为 1.46735~1.46985, 而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46542~1.46617; 当温度为 30℃ 时, 普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46593~1.46818, 而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46408~1.46466; 当温度为 35℃ 时, 普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46445~1.46653, 而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46265~1.46314; 当温度为 40℃ 时, 普通油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46301~1.46494, 而高油酸花生油的折光指数变异范围为 1.46111~1.46164 (图 1)。随着温度的升高, 普通油酸花生油和高油酸花生油的折光指数都逐渐降低; 在相同温度下, 高油酸花生油折光指数的变异范围均低于普通油酸花生油折光指数的变异范围。

分别以每个花生油样品的折光指数和温度建立标准曲线方程, 发现无论普通油酸花生油还是高油酸花生油, 每个线性方程的斜率均为 -0.0003, 即当温度每升高 1℃, 折光指数下降 0.0003, 而且温度对花生油折光指数的影响与其油酸含量无关 (图 1)。

### 2.3 花生油折光指数与油酸含量模型的建立

以 20℃ 为标准温度, 在 20℃ 下收集了 50 份花生油样品的折光指数。结果表明, 花生油的折光指数与其油酸含量显著负相关 ( $R^2=0.802$ )。普通油酸花生油 (34 份) 的油酸含量变异范围为 39.49%~62.72%, 其折光指数的变异范围为 1.46984~1.47169; 高油酸花生油 (16 份) 的油酸含量变异范

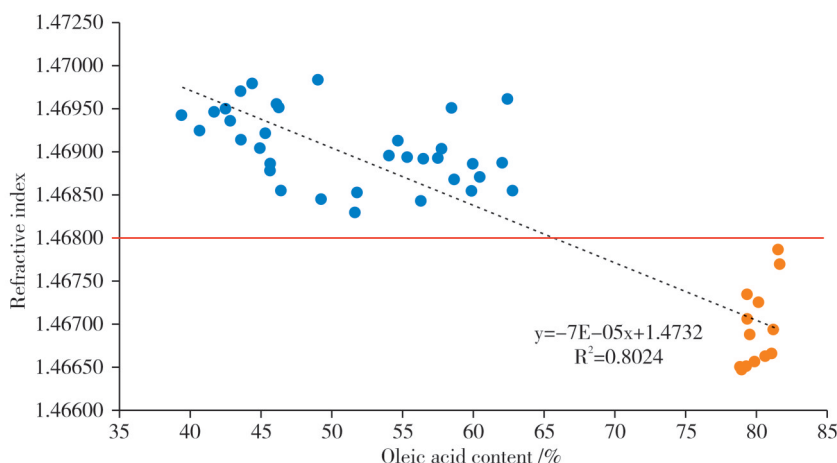
围为 78.92%~81.65%, 其折光指数的变异范围为 1.46766~1.46942。高油酸花生油的折光指数显著低于普通油酸花生油的折光指数 ( $P=1.65E-20$ ), 且高油酸花生油的折光指数变异范围和普通油酸花生油的折光指数变异范围不存在交集 (图 2)。

利用每个花生油样品的折光指数与油酸含量建立标准曲线方程:  $y=-7E-05x+1.4732$ , 其中  $y$  为样品的折光指数,  $x$  为样品的油酸含量 (%) (图 2)。由于油酸含量在 75% 以上的花生才称为高油酸花生<sup>[2]</sup>, 利用上述方程计算, 当  $x \geq 75$  时,  $y \leq 1.46800$ , 即当检测样品的折光指数小于 1.46800 时, 该样品为高油酸花生油。而且如图 2 所示, 当折光指数值为 1.46800 时可以将花生油样品按其油酸含量分为普通油酸花生油和高油酸花生油两组。

### 2.4 便携式高油酸花生鉴定仪的开发

通过整合温度和油酸含量与花生油折光指数的标准曲线方程, 建立利用折光指数鉴定高油酸花生油的数学模型。当得到待测花生油样品的折光指数  $RI$  以及检测时的温度  $T$  后, 首先将实际测得样品的折光指数  $RI$  折算为标准温度 20℃ 下的折光指数  $RI_{20}$ , 即  $RI_{20}=RI_T+0.0003 \times (T-20)$ , 其中  $RI_{20}$  为校正到 20℃ 后的折光指数,  $RI_T$  为当前温度下的折光指数,  $T$  为当前温度; 然后依据  $RI_{20}$  判断当前样品是否为高油酸花生油: 当  $1.4670 \leq RI_{20} < 1.4680$ , 表示该样品为高油酸花生油; 当  $1.4680 \leq RI_{20} < 1.4720$ , 表示该样品为普通油酸花生油。

将上述模型植入小型数字显示折光仪中, 并定



注: 蓝色的点代表普通油酸花生油样品, 橙色的点代表高油酸花生油样品; 当折光指数为 1.46800 时可以将蓝色的点和橙色的点分别归入普通油酸花生油和高油酸花生油两组

Note: Blue dots are normal oleate peanut oil samples, and orange dots are high oleate peanut oil samples. When the refractive index is 1.46800, the blue dots and orange dots are classified into normal oleate and high oleate peanut oil groups

图 2 花生油折光指数与其油酸含量的相关性

Fig. 2 Correlation coefficient between refractive index and oleic acid content of peanut oil

义显示界面:当仪器判断当前样品为高油酸花生油时,仪器显示“HO”;当仪器判断当前样品为普通油酸花生油时,仪器显示“nO”(图3)。使用者通过读取仪器显示屏的信息,直接获得鉴定结果。

2.5 便携式高油酸花生鉴定仪的外部验证

另取30份花生种质材料的饱满种子作为外部验证样品,检验该仪器的鉴定效果。检测结果显示,共有14份花生材料被鉴定为普通油酸花生,通过气相色谱分析,其油酸含量均在75%以下;共有16份花生材料被鉴定为高油酸花生,且其油酸含量的化学值也均在75%以上(表2)。上述结果表明本

仪器的鉴定结果与其GC化学值鉴定结果完全一致,准确率达100%,而且本仪器所测得的折光指数与其油酸化学值的相关性也达到了0.9219(图4)。

3 讨论与结论

本研究系统分析了花生油折光指数与温度和油酸含量的相关性,据此建立了高油酸花生油的鉴定模型,并研制出一款便携式高油酸花生鉴定仪。与气相色谱仪和近红外光谱仪相比,这款仪器具有以下优点:首先,这款仪器的体积小、重量轻,易于移动,无需外接电源,可以在室外使用(表3);其次,



注:1. 使用液压钳将花生油从待测种子中压榨出来;2. 使用注射器从油槽中吸取油样;3. 使用0.8μm的滤膜过滤油样;4. 将过滤后的油样滴入鉴定仪的滴液槽中,合上遮光盖,按“测量键”进行测定;5. 根据仪器显示结果判定所测花生是否为高油酸花生。如果显示屏显示“HO”,则检测样品为高油酸花生油;如果显示屏显示“nO”,则检测样品为普通油酸花生油

Note: 1. Using the hydraulic tong to press oil from peanut seeds; 2. Using the syringe to draw peanut oil from the slot; 3. Filtering the peanut oil by 0.8μm microfiltration membrane; 4. Dripping the peanut oil into the testing tank, and pressing the "read" button for identification; 5. Reading the result: if the screen shows "HO", it means that the sample is high oleate oil, while if the screen shows "nO", it means that the sample is normal oleate oil

图3 使用便携式高油酸花生鉴定仪操作过程

Fig. 3 The operating procedure of the portable instrument for identifying high oleate peanut

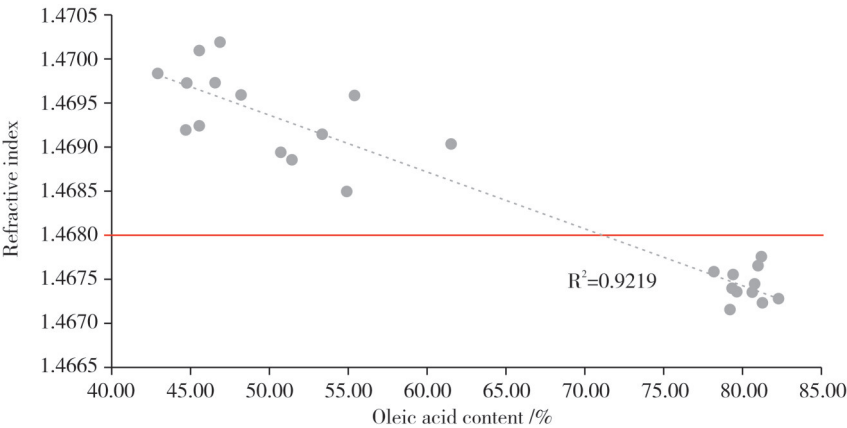


图4 检验使用的花生品系的便携式高油酸花生鉴定仪读取的折光指数与油酸含量的化学值相关性

Fig. 4 Correlation coefficient of results from the portable instrument for identifying high oleate peanut and oleic acid contents from gas chromatograph

表2 便携式高油酸花生鉴定仪分析结果与其油酸含量化学值

Table 2 Results from the portable instrument for identifying high oleate peanut and gas chromatograph analysis

| 样品编号<br>NO. | 品系名称<br>Name        | 仪器 I         |        | 仪器 II         |        | 一致性         | 鉴定结果        | 油酸含量       |
|-------------|---------------------|--------------|--------|---------------|--------|-------------|-------------|------------|
|             |                     | Instrument I |        | Instrument II |        | Consistency | Result from | Oleic acid |
|             |                     | NO/HO        | RI     | NO/HO         | RI     | (Y/N)       | instrumeent | content /% |
| A01         | 中花 30 Zhonghua 30   | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4675 | Y           | HO          | 82.38      |
| A02         | 中花白皮 Zhonghuabaipi  | NO           | 1.4695 | NO            | 1.4700 | Y           | NO          | 44.66      |
| A03         | 中花 12 Zhonghua12    | NO           | 1.4687 | NO            | 1.4696 | Y           | NO          | 53.28      |
| A04         | S17034              | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4676 | Y           | HO          | 80.50      |
| A05         | 14-2121             | HO           | 1.4670 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 79.61      |
| A06         | 花育 23 Huayu23       | NO           | 1.4692 | NO            | 1.4697 | Y           | NO          | 61.42      |
| A07         | 中花 6 号 Zhonghua 6   | NO           | 1.4699 | NO            | 1.4708 | Y           | NO          | 46.79      |
| A08         | 罗汉果 Luohanguo       | NO           | 1.4697 | NO            | 1.4698 | Y           | NO          | 46.47      |
| A09         | 18WH2004            | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4678 | Y           | HO          | 80.65      |
| A10         | 18WH2005            | HO           | 1.4675 | HO            | 1.4676 | Y           | HO          | 79.31      |
| A11         | 中花 29 Zhonghua29    | HO           | 1.4673 | HO            | 1.4679 | Y           | HO          | 78.08      |
| A12         | 四粒红 Silihong        | NO           | 1.4702 | NO            | 1.4705 | Y           | NO          | 51.38      |
| A13         | 中花 215 Zhonghua215  | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 79.27      |
| A14         | 中花 16 Zhonghua16    | NO           | 1.4700 | NO            | 1.4702 | Y           | NO          | 45.45      |
| A15         | 中花 9 号 Zhonghua9    | NO           | 1.4688 | NO            | 1.4691 | Y           | NO          | 50.74      |
| A16         | 中花 12 Zhonghua12    | NO           | 1.4693 | NO            | 1.4692 | Y           | NO          | 45.45      |
| A17         | 远杂 9102 Yuanza9102  | NO           | 1.4690 | NO            | 1.4694 | Y           | NO          | 44.74      |
| A18         | 鲁花 11 Luhua11       | NO           | 1.4692 | NO            | 1.4700 | Y           | NO          | 55.40      |
| A19         | 冀花 11 Jihua11       | HO           | 1.4677 | HO            | 1.4678 | Y           | HO          | 81.12      |
| A20         | 冀花 13 Jihua13       | HO           | 1.4672 | HO            | 1.4676 | Y           | HO          | 79.45      |
| A21         | 冀花 16 Jihua16       | HO           | 1.4670 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 79.65      |
| A22         | 冀花 18 Jihua18       | HO           | 1.4670 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 80.68      |
| A23         | 冀花 19 Jihua19       | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 79.38      |
| A24         | 开农 176 Kainong 176  | HO           | 1.4670 | HO            | 1.4673 | Y           | HO          | 79.12      |
| A25         | 开农 1715 Kainong 176 | HO           | 1.4670 | HO            | 1.4675 | Y           | HO          | 81.21      |
| A26         | 豫花 65 Yuhua65       | HO           | 1.4671 | HO            | 1.4677 | Y           | HO          | 79.38      |
| A27         | 花育 52 Huayu 52      | HO           | 1.4674 | HO            | 1.4679 | Y           | HO          | 80.76      |
| A28         | 徐花 13 Xuhua 13      | NO           | 1.4693 | NO            | 1.4699 | Y           | NO          | 48.11      |
| A29         | 粤油 92 Yueyou 92     | NO           | 1.4697 | NO            | 1.4700 | Y           | NO          | 42.80      |
| A30         | 豫花 9327 Yuhua 9327  | NO           | 1.4683 | NO            | 1.4687 | Y           | NO          | 54.81      |

注: RI, 折光指数; Y, 是; N, 否; NO, 普通油酸花生; HO, 高油酸花生

Note: RI, refractive index; Y, yes; N, no; NO, normal oleate peanut; HO, high oleate peanut

表3 比较便携式高油酸花生鉴定仪与气相色谱仪和近红外光谱仪

Table 3 Comparing the portable instrument for identifying high oleate peanut with gas chromatograph and near-infrared spectroscopy

|                            | 气相色谱仪                     | 近红外光谱仪                     | 便携式高油酸花生鉴定仪                                            |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|
|                            | Gas chromatograph         | Near-infrared spectroscopy | Portable instrument for identifying high oleate peanut |
| 体积 Size /cm                | (60-110)×(50-60)×(50-100) | (30-80)×(30-60)×(30-100)   | 8×10×5.5                                               |
| 重量 Weight/kg               | 45-105                    | 18-22                      | 0.4                                                    |
| 外接电源                       | √                         | √                          | ×                                                      |
| External power supply      |                           |                            |                                                        |
| 价格(元)                      | 200 000 ~ 400 000         | 100 000 ~ 400 000          | 8 000 ~ 10 000                                         |
| Price /yuan                |                           |                            |                                                        |
| 样品制备时间(分钟)                 | 40~60                     | 0.1~1                      | 2~3                                                    |
| Preparing sample time /min |                           |                            |                                                        |
| 样品检测时间(分钟)                 | 15~20                     | 0.1~1                      | 0.5~1                                                  |
| Detecting time /min        |                           |                            |                                                        |

这款仪器造价低,其成本在1万元以内,远低于气相色谱仪和近红外光谱仪几十万元的价格(表3);而且,这款仪器比气相色谱仪操作简单,整个操作过程不超过5分钟,可以实现高油酸花生的速测(表3);最重要的是,这款仪器鉴定结果准确,与气相色谱仪分析结果一致性达100%(表2),鉴定结果具有可参考性。

值得注意的是,折光指数与油脂的分子结构密切相关,长期贮藏和油脂的提取方法也会对花生油的折光指数产生影响。长期贮藏会引起植物油脂酸败,从而产生许多含羟基的物质,导致植物油脂的折光指数升高<sup>[28, 29]</sup>。因此,长期贮藏的花生并不适用折光法鉴定其是否为高油酸花生,本仪器适用于鉴定贮藏时间在1年以内的花生。花生油的提取方法也会对油脂的分子结构产生影响,低温压榨(压榨温度80℃-90℃)和高温压榨(压榨温度120℃以上)花生油的折光指数都低于冷榨花生油(压榨温度在60℃以下)的折光指数<sup>[30, 31]</sup>。因此,在使用本仪器时建议在常温下提取花生油。

综上所述,这款便携式高油酸花生鉴定仪能够快速、准确地鉴定花生样品是否为高油酸花生,且该仪器价格低廉、操作简单、准确性高,大幅降低了高油酸花生鉴定成本,并且实现了花生样品的现场测量,适合花生原料收购、食品加工和榨油企业、育种单位使用,特别适用于室外现场收购。

## 参考文献:

- [1] 廖伯寿. 我国花生生产发展现状与潜力分析[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(2): 161-166. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2020115.
- [2] 全国农业技术推广服务中心. 高油酸花生产业纵论[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019.
- [3] 王传堂, 朱立贵. 高油酸花生[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2017.
- [4] O'Keefe S F, Wiley V A, Knauff D A. Comparison of oxidative stability of high- and normal-oleic peanut oils[J]. J Am Oil Chem Soc, 1993, 70(5): 489-492. DOI: 10.1007/BF02542581.
- [5] Sales-Campos H, Souza P R, Peghini B C, et al. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease[J]. Mini Rev Med Chem, 2013, 13(2): 201-210. DOI: 10.2174/138955713804805193.
- [6] Ray T K, Holly S P, Knauff D A, et al. The primary defect in developing seed from the high oleate variety of peanut (*Arachis hypogaea* L.) is the absence of  $\Delta 12$ -desaturase activity[J]. Plant Sci, 1993, 91(1): 15-21. DOI: 10.1016/0168-9452(93)90184-2.
- [7] Wang M L, Barkley N A, Chen Z B, et al. *FAD2* gene mutations significantly alter fatty acid profiles in cultivated peanuts (*Arachis hypogaea*) [J]. Biochem Genet, 2011, 49(11/12): 748-759. DOI: 10.1007/s10528-011-9447-3.
- [8] Pandey M K, Wang M L, Qiao L, et al. Identification of QTLs associated with oil content and mapping *FAD2* genes and their relative contribution to oil quality in peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. BMC Genet, 2014, 15: 133. DOI: 10.1186/s12863-014-0133-4.
- [9] Okuley J, Lightner J, Feldmann K, et al. *Arabidopsis* *FAD2* gene encodes the enzyme that is essential for polyunsaturated lipid synthesis[J]. Plant Cell, 1994, 6(1): 147-158. DOI: 10.1105/tpc.6.1.147.
- [10] Martínez-Rivas J M, Sperling P, Lühs W, et al. Spatial and temporal regulation of three different microsomal oleate desaturase genes (*FAD2*) from normal-type and high-oleic varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. Mol Breed, 2001, 8(2): 159-168. DOI: 10.1023/A: 1013324329322.
- [11] Pham A T, Lee J D, Shannon J G, et al. Mutant alleles of *FAD2-1A* and *FAD2-1B* combine to produce soybeans with the high oleic acid seed oil trait [J]. BMC Plant Biol, 2010, 10: 195. DOI: 10.1186/1471-2229-10-195.
- [12] Chi X, Zhang Z, Chen N, et al. Isolation and functional analysis of fatty acid desaturase genes from peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. PLoS One, 2017, 12(12): e0189759. DOI: 10.1371/journal.pone.0189759.
- [13] Jung S, Powell G, Moore K, et al. The high oleate trait in the cultivated peanut [*Arachis hypogaea* L.]. II. Molecular basis and genetics of the trait [J]. Mol Gen Genet MGG, 2000, 263(5): 806-811. DOI: 10.1007/s004380000243.
- [14] Chu Y, Ramos L, Holbrook C C, et al. Frequency of a loss-of-function mutation in oleoyl-PC desaturase (*ahFAD2A*) in the mini-core of the US peanut germplasm collection [J]. Crop Sci, 2007, 47(6): 2372-2378. DOI: 10.2135/cropsci2007.02.0117.
- [15] Nawade B, Bosamia T C, Thankappan R, et al. Insights into the Indian peanut genotypes for *ahFAD2* gene polymorphism regulating its oleic and linoleic acid fluxes [J]. Front Plant Sci, 2016, 7: 1271. DOI: 10.3389/fpls.2016.01271.
- [16] Hammond E G, Duvick D, Wang T, et al. Survey of the fatty acid composition of peanut (*Arachis hypogaea*) germplasm and characterization of their epoxy and eicosenoic acids [J]. J Am Oil Chem Soc, 1997, 74

- (10): 1235–1239. DOI: 10.1007/s11746-997-0050-z.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 动植物油脂 脂肪酸甲酯的气相色谱分析: GB/T 17377—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [18] Tillman B L, Gorbet D W, Person G. Predicting oleic and linoleic acid content of single peanut seeds using near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Crop Sci*, 2006, 46(5): 2121–2126. DOI: 10.2135/cropsci2006.01.0031.
- [19] 张建成, 王传堂, 王秀贞, 等. 花生自然风干种子油酸、亚油酸和棕榈酸含量的近红外分析模型构建[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(3): 90–93.
- [20] 李建国, 薛晓梦, 张照华, 等. 单粒花生主要脂肪酸含量近红外预测模型的建立及其应用[J]. *作物学报*, 2019, 45: 1891–1898.
- [21] Barkley N A, Chamberlin K D C, Wang M L, et al. Development of a real-time PCR genotyping assay to identify high oleic acid peanuts (*Arachis hypogaea* L.) [J]. *Mol Breed*, 2010, 25(3): 541–548. DOI: 10.1007/s11032-009-9338-z.
- [22] Chen Z B, Wang M L, Barkley N A, et al. A simple allele-specific PCR assay for detecting FAD2 alleles in both A and B genomes of the cultivated peanut for high-oleate trait selection [J]. *Plant Mol Biol Report*, 2010, 28(3): 542–548. DOI: 10.1007/s11105-010-0181-5.
- [23] Zhao S Z, Li A Q, Li C S, et al. Development and application of KASP marker for high throughput detection of AhFAD2 mutation in peanut [J]. *Electron J Biotechnol*, 2017, 25: 9–12. DOI: 10.1016/j.ejbt.2016.10.010.
- [24] 袁美, 王传堂, 韩锁义, 等. 花生杂种分子鉴定和 ah-FAD2 基因分型技术研究进展 [J]. *山东农业科学*, 2017, 49(10): 143–150, 2. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2017.10.031.
- [25] 雷永, 廖伯寿, 姜慧芳, 等. 花生高油酸材料的快速鉴定方法: CN101876636A[P]. 2010–11–03.
- [26] Davis J P, Sweigart D S, Price K M, et al. Refractive index and density measurements of peanut oil for determining oleic and linoleic acid contents [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(2): 199–206. DOI: 10.1007/s11746-012-2153-4.
- [27] 李洁莉, 郑丹玮. 食用植物油折光指数测定法的探讨 [J]. *粮油食品科技*, 2006, 14(3): 46–47. DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2006.03.020.
- [28] 赵宇明, 孙玲玲, 刘超颖. 陈化食用植物油折光指数分析 [J]. *品牌与标准化*, 2011: 113.
- [29] 赵宇明, 付林华, 佟克兴. 长期贮藏对植物油理化指标的影响 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32: 85–87.
- [30] 刘元法, 王兴国. 油脂脱色过程对反式酸形成和不饱和度的影响 [J]. *中国油脂*, 2007, 32(12): 13–16. DOI: 10.3321/j.issn: 1003-7969.2007.12.003.
- [31] 石太渊, 于淼, 韩艳秋. 不同方法提取的花生油品质分析研究 [J]. *食品工业*, 2017, 38(10): 158–161.

(责任编辑: 胡志勇)