基于稳定碳同位素示踪技术的商品植物油掺杂鉴别研究

郭莲仙[1]，梁福睿[2]，梁一[1]，王江海[2]
（1.广东医学院公共卫生学院，广东东莞 523808）
（2.中山大学海洋学院，广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，广东广州 510006）

摘要：本文旨在运用所建立的纯植物油的脂肪酸组成及其稳定碳同位素比值判别标志对广州市售商品植物油是否掺杂进行判识。先在广州某大型超市购得18种商品植物油(包括3种茶籽油、5种花生油、2种葵花油、2种玉米油和6种橄榄油)；然后采用气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）、气相色谱-同位素比值质谱仪（GC-IRMS）和元素分析-同位素比值质谱仪（EA-IRMS）对这18种商品油的脂肪酸组成和全油及其脂肪酸的稳定碳同位素比值进行测定；最后将本次检测所获得的数据与作者之前建立的判别标志进行对比分析。对比结果表明，本批商品植物油的品质总体较好，但其中50%的植物油商品存在掺杂。因此，将植物油脂肪酸组成数据与其稳定碳同位素比值数据相结合，可灵敏地确定待检植物油是否存在掺杂。

关键词：植物油；稳定碳同位素示踪技术；脂肪酸组成
文章篇号：1673-9078(2014)5-292-296

Discrimination of the Adulteration of Commercial Vegetable Oils by Stable Carbon Isotope Analysis

GUO Lian-xian[1], LIANG Fu-rui[2], LIANG Yi[1], WANG Jiang-hai[2]
(1.School of Public Health, Guangdong Medical College, Dongguan 523808, China) (2.Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Resources and Coastal Engineering, School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper aims to develop a new discrimination method for the adulteration of commercial edible vegetable oils from Guangzhou market by previously-established markers of fatty acid composition and stable carbon isotope ratios. 18 vegetable oils, including camellia oil, peanut oil, sunflower oil, maize oil and olive oil were purchased from the supermarket in Guangzhou. Then, their fatty acid compositions were determined by chromatography mass spectrometry (GC-MS); the stable carbon isotope ratios ($\delta^{13}C$) of bulk oil samples and their individual major fatty acids were determined by elemental analysis-isotope ratio mass spectrometry (EA-IRMS) and gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry (GC-IRMS). The measured data were compared with previously-reported discrimination markers. The results indicated that the quality of the commercial vegetable oils from market was overall high, but the adulteration still occurred in 50% of the samples. Obviously, the adulteration of vegetable oils may be sensitively discriminated by the markers of stable carbon isotope ratios and fatty acid composition.

Key words: vegetable oil; stable carbon isotope tracing; fatty acid composition

市售的植物油种类繁多，其价格因种类、等级、制取工艺和油料来源等不同而相差迥异。由于茶籽油、橄榄油和花生油等食用植物油的价格较高，故一些不法商家会在此类价格较高的食用植物油中掺入价格较低、品质较次，甚至含有害物质的植物油而牟取暴利。我国虽已建立一些鉴别食用植物油掺杂的现代检测方法，如气相色谱法[1]、折光率法、红外光谱方法[2]和紫外分光光度法等[3]，然而，将稳定同位素示踪技术用于食用植物油的掺杂鉴别在我国尚处于起步阶段[4~5]。

稳定碳同位素示踪技术是鉴别植物油掺杂的强有力工具。最早将此技术用于食物掺杂鉴别可追溯到Doner&White[6]，他们提出可采用$\delta^{13}C$值来判识蜂蜜的

收稿日期：2013-12-22
基金项目：国家自然科学基金项目(81303155)；东莞市科技计划项目(2011108102022)
作者简介：郭莲仙(1984-)，女，博士，讲师，研究方向：功能食品生物技术
通讯作者：王江海(1965-)，男，研究员，博士生导师，研究方向：同位素地球化学

掺杂。此后，该方法得到迅猛发展并推广至食用植物油的掺杂鉴别。采用气相色谱-同位素比值质谱（GC-IRMS）和元素分析-同位素比值质谱（EA-IRMS）技术测定待检植物油全油及其脂肪酸的稳定碳同位素比值（$\delta^{13}C$），再比较待检植物油与典型同类植物油$\delta^{13}C$值之间的差异，就能确定待检植物油是否存在掺杂。如Woodbury等[7~8]研究了150种植物油的稳定碳同位素组成，建立了判识植物油掺杂的稳定碳同位素指标，并能从C3植物商品油中检出掺杂量低至5%的玉米油。Kelly[9]和Angerasa[10]分别建立了产自欧洲的常见植物油和产自地中海沿岸的橄榄油稳定碳同位素的判识标准。然而，因食用植物油的$\delta^{13}C$值与其原产地密切相关，故不能简单地将国外的稳定碳同位素判识标准直接用于中国食用油的掺杂鉴别。

本研究团队已对中国大陆灵芝孢子油[11]和12种植物油[12]的脂肪酸和稳定碳同位素比值做了系统的研究，并已建立判别这些油的脂肪酸组成和稳定碳同位素判识标准。为验证这套判识标准的可行性，作者以广州市售植物油为例，运用此套判识标准对其进行了掺杂判别，取得了较好的判识效果。

1 材料与方法

1.1 样品描述

商品植物油购于广州某大型超市。产自中国的有茶籽油3种（编号：Cam 1、Cam 2和Cam 3）；葵花籽油2种（编号：Sun 1和Sun 2）；花生油5种（编号：Pea 1、Pea 2、Pea 3、Pea 4和Pea 5）；玉米油2（编号：Maize 1和Maize 2）；产自西班牙的橄榄油6种（Olive 1、Olive 2、Olive 3、Olive 4、Olive 5和Olive 6）。

1.2 仪器与试剂

气相色谱-质谱仪（GC-MS）（型号为VARIAN GC 3800-MASS 2000；装配有50 m×0.25 mm的SE-54毛细管色谱柱）、元素分析-同位素比值质谱仪（EA-IRMS）（EA的型号为CE EA1112 C/N/S；IRMS的型号为DELTA ^{plus}XL）和气相色谱-同位素比值质谱（GC-IRMS）（GC的型号为HP 6890，IRMS的型号为GV IsoPrime）。石油醚、四氢呋喃、二氯甲烷、硫酸、醋酸、乙酸乙酯和无水硫酸钠均为分析纯。采用钠法去除石油醚、四氢呋喃和甲醇中的水。0.6 mol/L甲醇钠的制备方法：称取1.38 g金属钠，将其置于100 mL无水甲醇（其$\delta^{13}C$值为-47.1‰）中，待金属钠完全反应后即得该浓度的甲醇钠。

1.3 脂肪酸甲酯的制备

称取约50 mg样品，将其溶解于0.8 mL石油醚中；加入0.5 mL四氢呋喃助溶剂，混溶；加入1.5 mL甲醇钠，待反应液变清且冷却后，加入0.6 mL 5%乙酸，震荡；待静止分层后，取上层油相，用蒸馏水洗3遍；吹干溶剂后即得油状透明产物并称重。

1.4 仪器分析

1.4.1 脂肪酸甲酯的种类及其含量

将制备的脂肪酸甲酯用石油醚稀释至约50 μg/g，进样1 μL；载气为氦气，流速为1 mL/min。升温程序如下：起始温度为120 ℃，持续1 min；然后以5 ℃/min速率上升至240 ℃，在240 ℃保持20 min，最后以5 ℃/min速率上升至280 ℃，在280 ℃保持15 min。外标为浓度分别是10、50、100、400、1000 μg/g的37种脂肪酸混标（美国色谱科公司）。根据质谱检测结果和外标的保留时间确定所测样品中脂肪酸甲酯的种类及其含量。

1.4.2 脂肪酸的$\delta^{13}C$值

单个脂肪酸的$\delta^{13}C$值用GC-IRMS进行检测；其GC的色谱条件与上述相同。脂肪酸甲酯的$\delta^{13}C$值由GC-IRMS自动检测，并用如下公式[13]换算出单个脂肪酸的$\delta^{13}C$值：

$$\delta^{13}C_{FA} = [(n+1)\,\delta^{13}C_{FAME} - \delta^{13}C_{Methyl\ group}]/n \quad (1)$$

在（1）式中，FA为脂肪酸；FAME为脂肪酸甲酯；Methyl group为甲基；n为甲酯化之前的碳原子数目。

1.4.3 植物油全油的$\delta^{13}C$值

用锡舟包裹约2 mg待测样品，将样品放入进样器中；样品在960 ℃高温下完全燃烧转化成CO_2，用EA-IRMS自动检测样品的$\delta^{13}C$值，并根据参考气CO_2的$\delta^{13}C$值换算出样品的$\delta^{13}C$值。本研究所用标样的$\delta^{13}C$测定值为-36.9‰。

2 结果与讨论

2.1 脂肪酸种类及其含量

采用GC-MS对18种植物油商品的脂肪酸组成进行了测定，其归一化的分析结果列于表1。从表1看出，棕榈酸（$C_{16:0}$）、硬脂酸（$C_{18:0}$）、油酸（$C_{18:1}$）和亚油酸（$C_{18:2}$）为这些植物油商品的主要脂肪酸；Cam、Pea、Sun和Maize是本研究团队[12]获得的原产地为中国的纯植物油脂肪酸组成的数据；Olive是Spangenberg[14]报导的西班牙橄榄油的脂肪酸组成数

据。

2.2 全油及其主要脂肪酸的$\delta^{13}C$值

采用GC-IRMS和EA-IRMS对商品植物油的全油及其主要脂肪酸进行了$\delta^{13}C$值测定，其结果列于表2。除玉米油的$\delta^{13}C$值在-18.8‰至-15.1‰范围内之外，其它全油的$\delta^{13}C$值都分布在-27.0‰至-33.7‰的区间内。表1中Cam、Pea、Sun和Maize的数据是本研究团队[12]获得的原产地为中国的纯植物油的稳定碳同位素比值的数据；Olive是Spangenberg[14]报导的西班牙橄榄油的稳定碳同位素比值数据。

2.3 植物油商品的掺杂分析

稳定碳同位素指标能高效地检出C4植物油与C3植物油之间的掺杂，因为，C3植物油的$\delta^{13}C$值在-24.6‰~-32.7‰范围，而C4植物油的$\delta^{13}C$值则在-12.4‰~-16.3‰范围，两者差异非常明显。故若在C3植物油中存在C4植物油的掺入或C4植物油中有C3植物油的掺入，则其$\delta^{13}C$值与该品种植物油相比会显著升高或降低。当待检的样品为珍贵植物油（如茶籽油、橄榄油）商品时，若其$\delta^{13}C$值明显升高，则很可能有诸如玉米油的掺入。然而，C3植物油之间的掺杂是最普遍的植物油掺杂形式，因为绝大多数植物油为C3植物油。若将低品质C3植物油掺杂到高品质的C3植物油中，且掺杂物无法根据物理特征及通过简单的化学反应进行判识，则需将稳定碳同位素数据与脂肪酸含量结合起来进行综合评估方能进行有效判识[12]。

2.3.1 商品茶籽油

由表1看出，所有商品茶籽油与纯茶籽油的每种脂肪酸的含量差异不大，故仅从脂肪酸含量角度无法判断是否存在掺杂。然而，从表2看出，Cam 3中$C_{16:0}$和全油的$\delta^{13}C$值都小于纯茶籽油1‰以上。故可初步判断Cam 3可能有$\delta^{13}C$值比茶籽油小的植物油（如菜籽油和大豆油)的少量掺入[12]。

2.3.2 商品花生油

从表1可见，Pea 1、Pea 2、Pea 3和Pea 4的脂肪酸种类及其含量与纯花生油相近，而Pea 5的脂肪酸种类及其含量和$C_{18:1}/C_{18:2}$比值（1.47）与纯花生油（1.19）差异较大，故可能掺入了$C_{16:0}$和$C_{18:2}$含量比花生油低的植物油。从表2可见，Pea 3的全油及其主脂肪酸的$\delta^{13}C$值比纯花生油高，故可能有玉米油的掺入，但纯玉米油的$C_{18:1}/C_{18:2}$比值为0.51（Pea 3为1.21、纯花生油为1.19），故Pea 3可能同时掺入玉米油和其它具有较高$C_{18:1}/C_{18:2}$比值的植物油。Pea 5的全油及其主脂肪酸的$\delta^{13}C$值比纯花生油低，故可初步判定在Pea 5中可能有$C_{16:0}$和$C_{18:2}$含量及全油$\delta^{13}C$值比纯花生油低的植物油的掺入。

2.3.3 商品葵花籽油

从表1可见，Sun 1和Sun 2的脂肪酸含量和$C_{18:1}/C_{18:2}$比值（均为0.49）与纯葵花籽油（0.36）之间差别较大，初步判断在两者中可能掺入$C_{18:1}$含量较高的植物油。从表2看出，Sun 2与纯葵花子油的$\delta^{13}C$相近，而Sun 1的全油和$C_{16:0}$的$\delta^{13}C$值比纯葵花子油低。综合考虑上述分析结果，作者认为Sun 1可能掺杂了大豆油[12]，而Sun 2则可能掺杂了$\delta^{13}C$值与葵花子油相似但$C_{18:1}$含量较高、品质较次的花生油。

2.3.4 商品玉米油

从表1看出，Maize 1和Maize 2的脂肪酸含量和$C_{18:1}/C_{18:2}$比值（分别为0.63和0.74）与纯玉米油（0.51）略有差异，初步判断Maize 1可能掺入$C_{16:0}$含量与玉米油类似、$C_{18:1}$含量比玉米油高的植物油；Maize 2可能掺入$C_{16:0}$和$C_{18:1}$含量比玉米油高的植物油。从表2看出，Maize 1和Maize 2的全油和$C_{16:0}$的$\delta^{13}C$值均小于纯玉米油的$\delta^{13}C$值。由于玉米油为C4植物，其$\delta^{13}C$值显著高于C3植物，故Maize 1和Maize 2可能掺入少量的C3植物油。

表1 食用植物油商品中脂肪酸种类及其含量（wt%）

Table 1 Types of fatty acids and their relative abundances in the commercial edible vegetable oils purchased from the market

样品	$C_{14:0}$	$C_{15:0}$	$C_{16:1}$	$C_{16:0}$	$C_{17:1}$	$C_{17:0}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{18:1}$	$C_{18:0}$	$C_{20:1}$	$C_{20:0}$	$C_{22:1}$	$C_{22:0}$	$C_{18:1}/C_{18:2}$
Cam[12]	0.06	0.01	0.43	8.17	0.09	0.10	8.67	0.06	79.50	2.11	0.76	0.02	0.03	ND	9.17
Cam 1	0.01	ND	0.17	9.00	0.03	0.10	9.10	0.01	79.20	2.27	0.10	0.03	ND	ND	8.70
Cam 2	0.03	ND	0.14	8.30	0.04	0.05	9.20	0.01	79.00	2.75	0.48	0.02	ND	ND	8.59
Cam 3	0.03	ND	0.12	9.20	ND	0.14	9.20	ND	79.20	2.00	0.08	0.01	ND	ND	8.61
Pea[12]	0.04	0.01	0.07	10.90	0.04	0.13	35.60	ND	42.20	6.08	0.83	2.05	0.15	1.92	1.19
Pea 1	0.06	ND	0.04	12.80	ND	0.15	35.60	ND	44.90	4.13	0.31	0.47	ND	1.63	1.26
Pea 2	0.02	ND	0.05	11.20	0.01	0.04	36.80	ND	44.30	4.27	0.32	0.64	ND	2.37	1.20
Pea 3	0.03	0.01	0.04	11.40	ND	0.03	36.30	ND	43.80	3.55	0.79	1.28	ND	2.71	1.21

转下页

接上页

Pea 4	0.06	ND	ND	11.20	ND	0.01	36.50	ND	45.20	4.10	0.33	1.03	ND	1.51	1.24
Pea 5	0.13	ND	ND	9.90	0.02	0.23	32.90	ND	48.30	4.71	0.61	0.60	ND	2.57	1.47
Sun[12]	0.09	0.02	0.16	6.53	0.07	0.08	62.10	ND	22.30	6.78	0.24	0.46	ND	1.06	0.36
Sun 1	0.07	0.01	0.06	6.80	0.01	0.05	59.50	ND	29.10	4.25	0.02	0.07	ND	0.03	0.49
Sun 2	0.07	0.01	0.01	6.20	0.01	0.14	58.50	ND	28.90	6.00	0.01	0.06	ND	0.14	0.49
Maize[12]	0.01	0.01	0.06	12.10	ND	ND	55.60	ND	28.60	2.73	0.15	0.58	ND	0.15	0.51
Maize 1	0.05	ND	0.04	11.90	ND	ND	52.30	ND	32.90	2.70	0.03	0.03	ND	ND	0.63
Maize 2	0.03	ND	ND	13.40	0.10	0.12	48.70	ND	35.80	1.70	0.03	0.06	ND	ND	0.74
Olive[14]	ND	ND	0.50	14.90	ND	ND	6.60	0.50	74.70	2.80	ND	ND	ND	ND	11.32
Olive 1	0.02	0.01	1.16	12.20	0.12	0.01	10.50	0.12	72.30	3.37	0.08	0.12	0.01	0.01	6.89
Olive 2	0.03	0.01	0.58	10.80	0.03	0.06	28.10	2.43	54.20	3.61	0.05	0.10	ND	0.06	1.93
Olive 3	0.04	0.01	0.90	11.00	0.11	0.11	10.90	0.11	74.20	2.40	0.05	0.10	ND	ND	6.81
Olive 4	0.04	0.01	1.21	10.90	0.12	0.13	6.50	0.66	74.60	4.60	0.50	0.68	ND	0.05	11.48
Olive 5	0.02	0.01	0.51	9.10	0.42	0.34	5.60	0.07	79.90	3.52	0.34	0.11	ND	0.09	14.27
Olive 6	0.01	ND	0.79	10.90	0.06	0.02	4.95	0.49	77.80	3.90	0.40	0.60	ND	ND	15.72

注：数值为3次检测结果的平均值，且3次检测值的标准偏差（SD）小于0.30%，ND-未检出。

表2 食用植物油商品中主要脂肪酸和全油的δ^{13}C值（‰）

Table 2 δ^{13}C values (‰) of bulk oils and their individual major fatty acids in the commercial edible vegetable oils purchased from the market

样品	$C_{16:0}$	$C_{18:2}$	$C_{18:1}$	$C_{18:0}$	全油
Cam[12]	-28.8	-29.4	-28.2	-28.7	-28.6
Cam 1	-29.4	-28.1	-27.8	-30.2	-28.5
Cam 2	-29.7	-27.2	-28.8	-30.0	-28.6
Cam 3	-30.1	-28.5	-29.1	-29.7	-29.6
Pea[12]	-28.4	-29.1	-27.5	-27.3	-28.1
Pea 1	-28.8	-29.0	-27.7	-27.7	-28.3
Pea 2	-28.2	-28.8	-27.8	-28.1	-28.6
Pea 3	-26.7	-24.9	-27.0	-29.7	-27.0
Pea 4	-28.5	-28.9	-27.9	-28.6	-28.6
Pea 5	-31.0	-29.1	-30.1	-31.2	-29.5
Sun[12]	-29.2	-29.5	-28.7	-28.5	-28.4
Sun 1	-30.2	-28.6	-30.2	-30.7	-29.3
Sun 2	-29.7	-27.6	-29.9	-29.6	-28.7
Maize[12]	-15.3	-16.2	-15.1	-15.0	-14.1
Maize 1	-16.9	-15.5	-16.4	-18.8	-15.1
Maize 2	-16.6	-15.5	-17.3	-18.7	-15.3
Olive[14]	-31.5	ND	-31.1	ND	-29.6
Olive 1	-31.1	-28.7	-30.1	-32.5	-29.3
Olive 2	-31.0	-29.4	-30.8	-32.3	-29.7
Olive 3	-32.4	-30.7	-31.4	-33.3	-30.8
Olive 4	-29.9	-28.0	-29.6	-33.5	-29.0
Olive 5	-30.1	-28.6	-29.6	-31.6	-28.8

注：数值为3次检测结果的平均值，且3次检测值与平均值之偏差的绝对值小于0.25‰。

2.3.5 橄榄油商品

由表 1 可知，Olive 1、Olive 2 和 Olive 3 的 $C_{18:1}/C_{18:2}$ 比值分别为 6.89、1.93 和 6.81，与纯橄榄油的 $C_{18:1}/C_{18:2}$ 比值（11.32）存在明显的差异，故可初步判定在 Olive 1、Olive 2 和 Olive 3 中掺有 $C_{18:2}$ 含量比橄榄油高的植物油。从表 2 看出，Olive 3 的全油δ^{13}C 值与纯橄榄油的全油δ^{13}C 值差异最大，故判断 Olive 3 可能有δ^{13}C 值低于橄榄油的植物油掺入。

3 结论

从这批购置于广州市某大超市的植物油商品的检验结果看出，这批植物油商品的总体品质较高，但编号为 Cam 3、Pea 5、Sun 1、Sun 2、Maize 1、Maize 2、Olive 1、Olive 2 和 Olive 3 的植物油商品存在少量的掺杂；同时也表明，将植物油的脂肪酸组成数据与植物油的全油及其主要脂肪酸的稳定碳同位素比值数据相结合，可综合判识市售植物油商品中是否存在掺杂，甚至可以确定其掺杂量。

参考文献

[1] 王江蓉,周建平,刘荣,等.毛细管气相色谱法测定植物油脂肪酸组成初探[J].现代食品科技,2007,23(9):84-87
WANG Jiang-rong, ZHOU Jian-ping, LIU Rong, et al. Preliminary research on the measurement of fatty acid composition of the vegetable oil by capillary column chromatography [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(9): 84-87

[2] 许洪勇,成莲,王东峰,等.傅立叶变换红外光谱法鉴别地沟油的研究[J].现代食品科技,2012,28(6):707-708
XU Hong-yong, CHENG Lian, WANG Dong-feng, et al. Identification of recycled cooking oil by FT-IR [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(6): 707-708

[3] 斜培明,柴振林,朱杰丽等.食用植物油掺杂鉴定方法综述[J].江西农业学报,2012,24(3):163-166
DOU Pei-ming, CHAI Zhen-lin, ZHU Jie-li, et al. Summarization of identifying methods for adulterate edible vegetable oil [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(3): 163-166

[4] 金青哲,施峰华,谢峰,等.碳同位素比值法检测棕榈油掺入玉米油的研究[J].中国油脂,2009,34(1):73-75
JIN Qing-zhe, SHI Feng-hua, XIE Feng, et al. Detection of palm oil adulterated into corn oil by carbon isotope ratio method [J]. China Oils and Fats, 2009, 34(1): 73-75

[5] 金青哲,谢峰,丁志华,等.花生油和玉米油掺合物的碳同位素比值质谱法检测研究[J].中国粮油学报,2010,25(5):95-99
JIN Qing-zhe, XIE Feng, DING Zhi-hua, et al. Detection of blend of corn oil and peanut oil by carbon isotope ratio [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(5): 95-99

[6] Doner LW, White JW. Carbon-13/Carbon-12 ratio is relatively uniform among honeys [J]. Science, 1977, 197: 891-892

[7] Woodbury SE, Evershed RP, Rossell JB, et al. Detection of vegetable oil adulteration using gas chromatography combustion/isotope ratio mass spectrometry [J]. Analytical Chemistry, 1995, 67: 2685-2690

[8] Woodbury SE, Evershed RP, Rossell JB. δ13C analyses of vegetable oil fatty acid components, determined by gas chromatography-combustion-isotope ratio mass spectrometry, after saponification or regiospecific hydrolysis [J]. Journal of Chromatography A, 1998, 805: 249-257

[9] Kelly S, Parker I, Sharman M, et al. Assessing the authenticity of single seed vegetable oils using fatty acid stable carbon isotope ratios (13C/12C) [J]. Food Chemistry, 1997, 59: 181-186

[10] Angerosa F, Breas O, Contento S, et al. Application of stable isotope ratio analysis to the characterization of the geographical origin of olive oils [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 1013-1017

[11] Liu X, Xu SP, Wang JH, et al. Characterization of ganoderma spore lipid by stable carbon isotope analysis: Implications for authentication [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 388: 723-731

[12] Guo LX, Xu XM, Yuan JP, et al. Characterization and authentication of significant Chinese edible oilseed oils by stable carbon isotope analysis [J]. Journal of American Oil Chemists' Society, 2010, 87: 839-848

[13] Spangenberg JE, Macko SA, Hunziker J. Characterization of olive oil by carbon isotope analysis of individual fatty acids: Implications for authentication [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46: 4179-4184

[14] Spangenberg JE. Authentication of vegetable oils by bulk and molecular carbon isotope analyses with emphasis on olive oil and pumpkin seed oil [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49: 1534-1540