

研究报告

Research Report

不同含油量油菜籽代谢物差异分析

常涛¹ 李纲² 官梅¹ 张振乾^{1*}

1 湖南农业大学农学院, 南方粮油作物协同创新中心, 长沙, 410128; 2 永州职业技术学院农学院, 永州, 425100

* 通信作者, zzq770204@163.com

摘要 高含油油菜可提高单位面积产油量, 因而受到广泛关注, 但不同含油量油菜种子中代谢物的差异尚未清楚。本研究以 2 个含油量不同的甘蓝型油菜近等基因系授粉后 20~35 d 种子为材料, 使用超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱分析不同含油量材料间代谢物差异。以低含油量材料为对照, 共筛选出 46 种差异代谢物, 其中 24 种与油脂合成通路相关, 14 种与脂肪酸合成通路相关, 3 种糖代谢相关、2 种与维生素代谢相关、1 种与激素代谢相关、2 种与花青素代谢相关。高含油油菜种子种固醇、花青素、硬脂酸、亚油酸等脂肪酸较高, 亚麻酸含量较低。该结果有助于揭示油菜种子中油脂合成的机制, 可为高含油油菜育种提供参考。

关键词 油菜, 代谢组学, 含油量, 超高效液相色谱

Analysis on The Difference of Metabolites in Rapeseed with Different Oil Content

Chang Tao¹ Li Gang² Guan Mei¹ Zhang Zhenqian^{1*}

1 Agricultural College of Hunan Agricultural University, Southern Grain and Oil Crop Collaborative Innovation Center, Changsha, 410128; 2 Agricultural College of Yongzhou Vocational and Technical College, Yongzhou, 425100 Biotechnology co. LTD, Linyi, 276000

* Corresponding author, zzq770204@163.com

DOI: 10.5376/mpb.cn.2020.18.0019

Abstract High oil content rape can increase oil production per unit area because it was widely concerned. But the difference of metabolites in different oil content rape seeds was not clear. In this research, the metabolites of two near isogenic lines of *Brassica napus* with different oil content were analyzed by uplc-q-TOF/MS. The results showed that 46 kinds of differential metabolites were screened out, among which 24 were related to the pathway of oil synthesis, 14 to the pathway of fatty acid synthesis, 3 to the pathway of sugar metabolism, 2 to the pathway of vitamin metabolism, 1 to the pathway of hormone metabolism, and 2 to the pathway of anthocyanin metabolism. The fatty acids such as sterol, anthocyanin, stearic acid and linoleic acid were higher and linolenic acid was lower. The results were helpful to reveal the mechanism of oil synthesis in rape seeds and provide reference for high oil content rapeseed breeding.

Keywords Ape, Metabonomics, Oil content, UPLC

油菜是中国第一大油料作物, 占自产植物油总量的 57%以上(刘成等, 2019)。中国是食用植物油消费第一大国, 每年需从国外大量进口, 自给率不足 35% (张鑫等, 2020)。2019 年中国进口菜油量已超过

本文首次发表在《分子与植物育种》上, 现依据版权所有人授权的许可协议, 采用 Creative Commons Attribution License, 协议对其进行授权, 再次发表与传播

收稿日期: 2020 年 6 月 16 日; 接受日期: 2020 年 6 月 18 日; 发表日期: 2020 年 6 月 25 日

引用格式: 常涛, 李纲, 官梅, 张振乾, 2020, 不同含油量油菜籽代谢物差异分析, 分子植物育种(网络版), 18(19): 1-7 (10.5376/mpb.cn.2020.18.0019) (Chang T., Li G., Guan M., and Zhang Z. Q., 2020, Analysis on the difference of metabolites in rapeseed with different oil content, *Fengzi Zhiwu Yuzhong* (Molecular Plant Breeding (online)), 18(19): 1-7 (10.5376/mpb.cn.2020.18.0019))

世界油菜总进口总量的 40%，单纯依靠进口，无法满足中国不断增加的食用油需求(姚林, 2020)，提高中国菜油自产供应量刻不容缓。提高菜油供应量可通过扩大种植面积和提高单位面积产油量两个途径，但目前中国油菜种植面积不断萎缩，亩产增长幅度有限，而菜籽含油量与国外主栽的品种相比还有 4%~6% 的差距，增长空间较大。如果生产中的油菜品种含油量增高，则能有效缓解中国食用油自给不足的现状(洪波等, 2019)。因此高含油油菜对提高中国食用油自给水平十分重要。

代谢组学采用先进分析检测技术结合模式识别和专家系统等计算分析方法，是代谢组学研究的基本方法(Erp et al., 2014)，使用代谢组学分析样本不仅能系统的分析主要差异物的影响，还能对一些常规分析方法难以检测到的物质进行检测，已成为分析生物间生理差异的重要手段(钱俊青等, 2010)。目前将代谢组学应用于作物的研究有很多，如 Fumagalli 等(2009)进行了两种不同基因型的水稻应答干旱胁迫和盐胁迫的代谢组学研究，分析两种非生物胁迫时两种基因型水稻表现出氨基酸和糖类积累。Hernandez 等(2007)利用 GS-TOF-MS 对豆科植物的根部进行了代谢轮廓的分析比较，并鉴定了许多与磷胁迫有关的代谢产物，氨基酸、多元醇和糖类在对磷胁迫的应答时含量升高。近年来，代谢组学在油菜中的研究也逐渐增多。研究表明，高含油油菜种皮中的可溶性蛋白含量(常涛等, 2019)普遍较低。但这些差异没有系统的从各个代谢通路上对含油量的差异作出解释。将代谢组学应用于植物含油量的研究较少，在油菜中尚无与含油量相关的研究。

油菜种子在成熟过程中的油脂积累会受代谢物质的影响，对不同含油量的油菜种子进行代谢组学分析，能够从代谢通路上分析油菜种子在成熟过程中代谢物质发生的变化，揭示了油脂合成的本质。本研究以 2 个不同的含油量甘蓝型油菜近等基因系授粉后 20~35 d 种子为材料，分析其代谢物差异，为高含油油菜育种提供参考。

1 结果与分析

1.1 差异代谢物质鉴定

将 QC 样本的总离子流图进行谱图重叠(n=12)(图 1)。为了更加详细地了解代谢物对油菜含油量的影响，对 2 组油菜种子的代谢物进行了 UH-PLC-Q-TOF/MS 分析。经过峰提取和匹配后，共得到

11 473 个化合物特征离子，其中 9 421 个在 QC 样品中 RSD<30% 的特征离子用于下一步分析。

PCA 分析显示 2 组样品之间被明显的区分开来，表明不同含油量油菜种子的代谢物发生了明显的变化(图 2)。以低含油材料为对照，共筛选出 1.2>FC>0.83 的显著差异代谢物 46 种，将筛选所得差异代谢物输入 KEGG 数据库(www.kegg.jp/kegg/mappe.html)查询代谢通路。

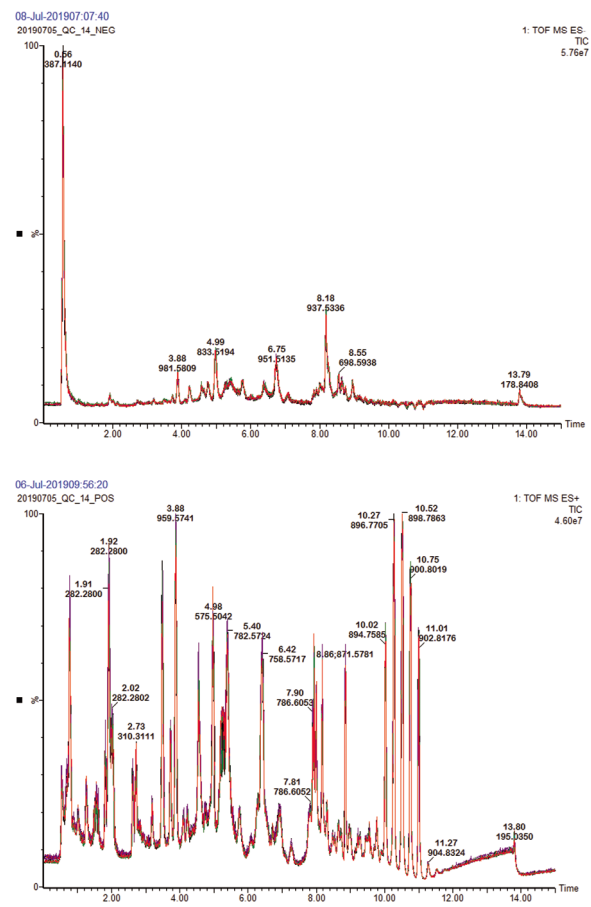


图 1 质控血浆样品总离子流(n=12)

Figure 1 Total ion current (TIC) chromatograms of quality control (QC) plasma samples (n=12)

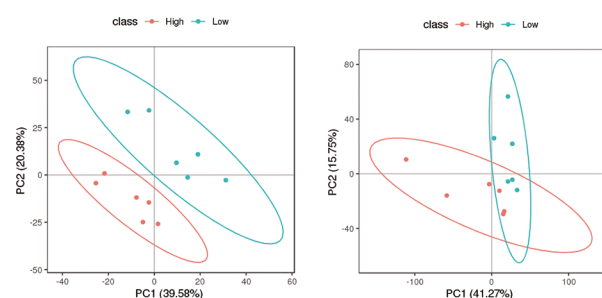


图 2 电喷雾电离模式下油菜种子样本的 PCA 得分

Figure 2 Principal component analysis (PCA) scoreplots of the rapeseed samples in the electrospray ionization mode

1.2 脂质代谢通路代谢物的差异

脂质代谢通路中鉴定到 24 种差异代谢物(表1)。高含油油菜中有 14 种代谢物较高,10 种代谢物较低。本研究检测脂质代谢通路中的主要差异物包括甾醇、脂肪酮、脂肪醇、乙酰乙酸盐等物质。与对照相比,高含油油菜中脂肪酮、脂肪醇、乙酰乙酸盐的含量显著较高,固醇类物质的含量显著较低。高含油材料中两种脱氧皮质醇和硬质酰胺表达量均较高,皮质醇和脂酰胺是油脂合成中的重要物质(王晓红等, 2018),其含量增高可能对含油量的提高造成影响。

1.4 其它代谢物的差异

本研究还鉴定到了差异代谢物包括:糖代谢通路 3 种、维生素代谢 2 种、激素 1 种、花青素 2 种(表3)。对照相比,高含油油菜中花青素、马钱子苷五乙酸含量上调,含量是高含油材料的 2 倍以上。赤霉素、维生素 E、糖酸等物质下调。花青素、马钱子苷五乙酸均有较强的抗寒氧化性(罗玉燕等, 2010),而赤霉素有促进作物提早成熟的作用,其含量变化可能影响了种子的活性,从而影响油脂积累。

2 讨论

本研究利用代谢组学检测不同含油量油菜近等基因系材料授粉后 20~35 d 种子中代谢物的差异,两个材料在脂质代谢、脂肪酸代谢、花青素和糖代谢方面有显著差异。其中,高含油油菜中脂肪酮、脂肪醇、乙酰乙酸盐的含量显著较高,两种脱氧皮质醇和硬质酰胺表达量均较高,固醇类物质的含量显著较低。高含油油菜中下调脂肪酸的种类较多,但多为碳原子数较多且饱和程度高的脂肪酸,与油菜油脂积累的主要脂肪酸如硬脂酸和亚油酸等均以上调为主。高含油油菜中花青素、马钱子苷五乙酸含量上调,含量是高含油材料的 2 倍以上。赤霉素、维生素 E、糖酸等物质下调。本研究可为高含油量油菜育种提供参考。

研究发现脂质代谢通路中脂肪酮、脂肪醇、乙酰乙酸盐的含量较高,而固醇类物质的含量较低。固醇有多种不同的生物学功能,一方面作为细胞膜的成分及合成脂肪酮、脂肪醇等物质,另一方面是作为乙酰辅酶 A 转化成油脂的中间物质,植物体内以乙酰辅酶 A 为原料,经缩合等反应产生甲羟戊酸,再经一系列磷酸化反应生成的异戊二烯单位缩合产生 C30

烯,再经环化生成固醇类物质。本研究中,高含油材料中固醇类物质整体下降原因可能有二:一是转化为细胞膜,增强了细胞膜的活性,促进了油脂合成和积累,二是直接作为乙酰辅酶 A 转化为油脂的中间物质参与了脂质合成。

本研究发现高含油油菜种子中花青素高于低含油材料。孙月娥等(2010)研究表明,植物体内的脂肪在氧化条件下会被脂肪酶分解为甘油、单双甘油酯和游离脂肪酸等物质,进而被消耗。本研究中,低含油油菜可能由于在种子发育后期脂肪降解酶活性增高,脂肪快速降解从而导致了含油量下降。同时,高含油油菜中花青素含量显著上升,可能是高含油油菜种子中花青素含量较高,导致种子中抗氧化程度提升,抑制了脂肪酶的活性,减少了脂肪的分解。

代谢物质差异还会影响菜油品质。脂肪酮、脂肪醇等物质均是脂肪酸还原产生(曾琼等, 2013),其含量提高可能是脂肪酸含量增加所致。亚油酸是不饱和脂肪酸代谢的关键物质,可转化为 γ -亚麻酸和花生烯酸等不饱和脂肪酸,本研究中亚油酸含量增高而 γ -亚麻酸降低,可能是因为高含油材料积累的亚油酸尚未完全转化所致。研究表明(Ghalanbor et al., 2008),花青素是当今人类发现最有效的抗氧化剂,也是最强效的自由基清除剂。高含油材料中花青素含量较高,可能是其抗氧化能力强,降低了细胞受到了损害,促进油脂积累所致。而维生素 E 可抑制过氧化脂反应(何晨等, 2020),其含量下降可能是油脂含量的增加以致消耗过多,最终导致品质改变。

在本研究中,还鉴定到乙酰乙酸盐、游离脂肪酸、马钱子苷五乙酸等常规分析方法难以检测到的物质,这些物质均对含油量具有重要影响。

3 材料与方法

3.1 试验材料

甘蓝型高含油油菜(*Brassica napu* L.)近等基因系材料,两材料父母本相同但含油量差异显著,含油量分别为 48%和 38%,由湖南农业大学油料所提供。

3.2 方法

每组材料取自交套袋授粉后 20~35 d 油菜种子,各 6 个重复,存于 -80°C 保存备用。采用 ACQUITY UPLC CSH C18 column (100 mm \times 2.1mm, 1.7 μm , Waters, UK)进行色谱分离,具体操作及参数参照陈勤操等(2019)。

表 1 高 - 低含油量油菜在脂质代谢通路中的显著性代谢差异物

Table 1 Significant metabolism difference between low oil and high oil rape in lipid metabolism pathway

表达 Expression	代谢物名称 Name of metabolite	VIP	变化倍数 Multiple of change	Compound ID	<i>p</i>
上调 Raise	皮质脂酮 Corticosterone	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	9,12,13-TriHOME	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	9,10,13-TriHOME(11)	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	11- 脱氧皮质醇 1-Deoxycortisol	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	21- 脱氧皮质醇 2-deoxycortisol	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	阿尔孕酮 Alprogesterone	0.047	1.313	0.65_369.2029m/z	0.047
	Abietol	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	Stearamide	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	Taxa-4(20),11(12)-dien-5 α -ol	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	硬脂酰胺 Stearamide	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	全反式 -13,14- 二氢视黄醇 All trans-13,14-dihydroretinol	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	异马拉 -7,15- 二烯醇 Isomara-7,15-dienol	0.042	1.315	5.75_306.2770m/z	0.042
	乙酰乙酸盐 Acetoacetate	1.753	1.382	0.67_146.0454m/z	0.030
	全反式植物氟烷 All trans plant halothane	0.044	1.494	1.92_560.5151m/z	0.044
下调 Down regulation	孟买醇 Mumbai alcohol	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	脱水四醋酸 Dehydrated tetraacetic acid	1.711	0.775	0.57_556.1840n	0.000
	五乙酸脂 Pentaacetate	1.711	0.775	0.57_556.1840n	0.000
	4 α - 甲基粪甾醇 4 α -methyl fecosterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	燕麦甾醇 Oat sterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	岩藻甾醇 Fucosterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	多孔甾醇 Porous sterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	粉苞苣甾醇 Stigmasterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	豆固醇 Soybean sterol	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029

注: VIP: 空间投影重要性

Note: VIP: variable importance for the projection

表 2 高-低含油量油菜在脂肪酸代谢通路中的显著性代谢差异物

Table 2 Significant metabolism difference between low oil and high oil rape in fatty acid metabolic pathway

表达 Expression	代谢物名称 Name of metabolite	VIP	变化倍数 Multiple of change	Compound ID	<i>p</i>
上调 Raise	亚油酸 Linoleic acid	1.455	1.369	1.06_279.2325m/z	0.046
	瘤胃酸 Oncogastric acid	1.455	1.369	1.06_279.2325m/z	0.046
	锦葵酸 Solanoic acid	1.455	1.369	1.06_279.2325m/z	0.046
	硬脂酸 Stearic acid	1.455	1.369	1.06_279.2325m/z	0.046
	2-环戊烯-1s-十三烷酸 2-cyclopentene-1s-tridecanoic acid	1.455	1.369	1.06_279.2325m/z	0.046
下调 Down regulation	α -亚麻酸 α -linolenic acid	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	γ -亚麻酸 γ -linolenic acid	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	2-十六烯 2-hexadecene	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	克伦炔酸 Croyne acid	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	石榴酸 Pomegranate acid	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	α -桐油酸 α -Tung oleic acid	0.024	0.824	10.27_261.2210m/z	0.024
	6-酮-PGF1 α 6-keto-PGF1 α	1.598	0.729	5.66_391.2245m/z	0.013
	6Z,9Z 十六二烯酸 6Z, 9z hexadecylic acid	0.040	0.603	2.00_270.2408m/z	0.040
	3 α ,12 α -二羟基 α 5 β -胆酸-6-烯 α 24-油酸 3 α , 12 α dihydroxy α 5 β -cholic acid-6-ene-24-oleic acid	0.040	0.515	2.00_408.3080m/z	0.040

注: VIP: 空间投影重要性

Note: VIP: variable importance for the projection

3.3 数据处理与分析

UHPLC-Q-TOF/MS 分析获得的原始图谱分别采用 DA Reprocessor software (Agilent Tech., Santa Clara, CA)和 Mass Profiler Professional 13.0 软件(Agilent Tech., Santa Clara, 美国)进行峰匹配和积分。主成分分析(PCA)使用 Simca-P 11.5 软件。Tukey s-b(K)检验使用 PASWstat software (版本 18.0, 美国)软件。采用 FC 分析 T 检验及对高含油材料组和低含油材料组的数据进行单变量分析(杨秀娟等, 2019), 可筛选出不同含油量油菜的差异代谢物, 以 $1.2 > FC > 0.83$, 且 $p < 0.05$ 作为筛选标准, FC 指高含油油菜相对于低含油材料的变化倍数, 本试验结果表明, 高含

油与低含油材料可明显聚为两类, 表明所筛选的代谢物合理。

作者贡献

张振乾是本研究的实验设计和实验研究的执行人; 常涛完成数据分析, 李纲论文初稿的写作; 张振乾参与实验设计, 试验结果分析; 官梅是项目的构思者及负责人, 指导实验设计, 数据分析, 论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由国家重点基础研究发展计划(973 计划)

表3 高-低油量油菜其他显著性代谢差异物

Table 3 Other significant metabolism difference foreign bodies between low oil and high oil rape

代谢通路	代谢物名称	VIP	变化倍数	Compound ID	<i>p</i>
Metabolic pathway	Name of metabolite		Multiple of change		
糖代谢	葡萄糖酸	0.024	0.543	0.52_210.0612m/z	0.024
Glycometabolism	Gluconic acid				
	异岩藻甙昔	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
	Isofucoside				
	马钱子昔五乙酸	1.855	2.037	0.57_585.1814m/z	3.326
	Strychnine pentaacetic acid				
激素	赤霉素 A8	4.683	0.403	0.58_364.1495n	3.663
Hormone	Gibberellin A8				
花青素	原花青素 B2	5.053	2.095	0.57_579.1488m/z	5.053
Anthocyanin	Procyanidin B2				
	原花青素 B4	5.053	2.095	0.57_579.1488m/z	5.053
	Procyanidin B4				
维生素代谢	维生素	0.029	0.625	3.47_413.3739m/z	0.029
Vitamin metabolism	Evitamin E				
	二酮古洛糖酸	0.024	0.543	0.52_210.0612m/z	0.024
	Diketogulose acid				

注: VIP: 空间投影重要性

Note: VIP: variable importance for the projection

项目(2015CB150206; SQ2018ZD080068; SYKB2017-01)资助。

参考文献

- Chang T., Zhang Z.Q., Chen H., and Guan C.Y., 2019, Analysis of physio-chemical indexes and seed coat structure on different oil content *Brassica napus*, *Fenzi Zhiwu Yuzhong* (Molecular Plant Breeding), 17(23): 7871-7878 (常涛, 张振乾, 陈浩, 官春云, 2019, 不同含油量甘蓝型油菜生理生化指标和种皮结构分析, *分子植物育种*, 17(23): 7871-7878)
- Chen Q.C., Dai W.D., Lin Z.Y., Lv M.L., and Lin Z., 2019, Effects of shading on main quality components in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) leaves based on metabolomics analysis, *Zhongguo Nongye Kexue* (Scientia Agricultura Sinica), 52(6): 1066-1077 (陈勤操, 戴伟东, 蔺志远, 解东超, 吕美玲, 林智, 2019, 代谢组学解析遮阴对茶叶主要品质成分的影响, *中国农业科学*, 52(6): 1066-1077)
- Erp H.V., Kelly A.A., Menard G., and Eastmond P.J., 2014, Multigene engineering of Triacylglycerol metabolism boosts seed oil content in Arabidopsis, *Plant Physiol.*, 165 (1): 30-36
- Fumagalli E., Baldoni E., Abbruscato P., Piffanelli P., Genga A., Lamanna R., and Consonni R., 2009, NMR techniques coupled with multivariate statistical analysis: tools to analyse *Oryza sativa* metabolic content under stress conditions, *J. Agron. Crop. Sci.*, 195(1): 77-88
- Ghalanbor Z., Ghaemi N., Marashi S.A., and Amanlou M., 2008, Binding of tris to *Bacillus licheniformis* α -Amylase can affect its starch hydrolysis activity, *Protein and Peptide Lett.*, 15(2): 212-214
- He C.C., Chen J.J., Chen N., Duan L.J., Wang L.X., and Wang L., 2020, Research advance of the anti-aging drug, *Xibei Yaoxue Zazhi* (Northwest Pharmaceutical Journal), 35(1): 154-157 (何晨, 刘晶晶, 陈楠, 段路娟, 王澜星, 王丽丽, 2020, 抗衰老药物的研究进展, *西北药学杂志*, 35(1): 154-157)
- Hernandez G., Ramirez M., Valdes-Lopez O., Tesfaye M., Graham M.A., Czechowski T., Schlereth A., Wandrey M., Erban A., Cheung F., Wu H.C., Lara M., Town C.D., Kopka J., Udvardi M.K., and Vance C.P., 2007, Phosphorus stress in common bean: root transcript and metabolic responses, *Plant Physiol.*, 144(2): 752-767
- Hong B., Xing M., and Yue N.Y., Zhou X.Q., He T., Zeng X.G., Zhang Z.R., Zhang H.Q., Xiong X.H., and Wu X.M., 2019, Cloning and expression vector construction of *BnGPA T9* gene promoter from *Brassica napus*, *Fenzi Zhiwu Yuzhong* (Molecular Plant Breeding), 17(11): 3556-3561 (洪波, 邢蔓, 岳宁燕, 周雪晴, 何婷, 曾祥拱, 张泽荣, 张海强, 熊兴华, 邬贤梦, 2019, 甘蓝型油菜 *BnGPA T9* 基因启动子克隆与表达载体构建, *分子植物育种*, 17(11): 3556-3561)
- Liu C., Zhao L.J., Tang J., Yang X., Wu L.L., Peng X., and Feng

- Z.C., 2019, Development of China's rapeseed industry under the background of Sino-US trade conflicts, *Zhongguo Youzhi (China Oils and Fats)*, 44(9): 1-6, 11 (刘成, 赵丽佳, 唐晶, 杨雪, 吴丽丽, 彭雄, 冯中朝, 2019, 中美贸易冲突背景下中国油菜产业发展问题探索, *中国油脂*, 44(9): 1-6, 11)
- Luo Y.Y., Lu C.Y., Chen G.X., and Gui K.Y., 2010, Research progress in secoiridoid compounds, *Shiping Kexue (Food Science)*, 31(21): 431-436 (罗玉燕, 卢成瑛, 陈功锡, 桂克印, 2010, 裂环烯醚萜类化合物研究概况, *食品科学*, 31(21): 431-436)
- Qian J.Q., Zhang Z., and Zhang P.P., 2010, Analysis of phosphatidylcholine in rapeseed phospholipid by HPLC, *Zhongguo Liangyou Xuebao (Journal of the Chinese Cereals and Oils Association)*, 25(1): 128-131 (钱俊青, 张铮, 张培培, 2010, 油菜磷脂中磷脂酰胆碱的液相色谱分析方法, *中国粮油学报*, 25(1): 128-131)
- Sun Y.E., and Wang W.D., 2010, Domestic and foreign research progress on analysis methods of lipid oxidation, *Zhongguo Liangyou Xuebao (Journal of the Chinese Cereals and Oils Association)*, 25(9): 123-128 (孙月娥, 王卫东, 2010, 国内外脂质氧化检测方法研究进展, *中国粮油学报*, 25(9): 123-128)
- Wang X.H., Liu F.J., Xu T., Liu J.R., Jin J., and Gong X.Q., 2018, Research advancement of physiological function and application of 1-octacosanol, *Zhongguo Shiwu Yu Yingyang (Food and Nutrition in China)*, 24(9): 14-20 (王晓红, 刘进丰, 徐涛, 刘金荣, 金杰, 龚秀清, 2018, *中国食物与营养*, 24(9): 14-20)
- Yao L., 2020, Current situation and development trend of China's soybean industry under Sino-US trade friction, *Zhongguo Youzhi (China Oils and Fats)*, 45(2): 10-14 (姚林, 2020, 中美贸易摩擦下的中国大豆产业现状与发展趋势, *中国油脂*, 45(2): 10-14)
- Zhang X., Ren Y.Y., Wang B., Meng Z.K., Zou Y., Zhang X.C., and Wang Y.J., 2020, Research progress on rapeseed green processing technology, *Liangyou Shiping Keji (Science and Technology of Cereals, Oils and Foods)*, 28(1): 58-62 (张鑫, 任元元, 王波, 孟资宽, 邹育, 张星灿, 王拥军, 2020, 油菜籽绿色加工技术研究进展, *粮油食品科技*, 28(1): 58-62)
- Zeng Q., Liu D.C., and Liu Y., 2013, The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax, *Shengtai Xuebao (Acta Ecologica Sinica)*, 33(17): 5133-5140 (曾琼, 刘德春, 刘勇, 2013, 植物角质层蜡质的化学组成研究综述, *生态学报*, 33(17): 5133-5140)