

不同粒径分级葵花籽仁组成比较分析

张立伟^{1,2}, 郭劲廷¹, 陈建国³, 许毅³, 郑竟成^{1,2}, 罗质^{1,2}, 何东平^{1,2}, 赵晓萍³

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023;
3. 阿拉山口金牧生物科技有限公司, 新疆 阿拉山口 833418)

摘要:旨在为葵花籽仁的分级应用提供理论依据,以葵花籽为原料,通过多级精分设备将葵花籽进行脱壳、分级,分为小(≤ 3 mm)、中(3~4 mm)、大(> 4 mm)3种粒径等级的葵花籽仁,分别对葵花籽仁组成进行比较分析。结果表明,各粒径葵花籽仁含油量均超过60%,油中不饱和脂肪酸相对含量超过85%,且小粒径葵花籽仁含油量及油中亚油酸相对含量最高。各粒径葵花籽仁粗蛋白质含量为44.93%~53.33%,大粒径葵花籽仁粗蛋白质及氨基酸含量最高。3种粒径葵花籽仁绿原酸总量为26 314.93~28 095.98 ng/mg,中粒径葵花籽仁总绿原酸总量最高。3种粒径葵花籽仁总淀粉含量为0.067%~0.090%,小粒径葵花籽仁总淀粉含量最高;3种粒径葵花籽仁抗性淀粉含量为0.019%~0.032%,中粒径葵花籽仁抗性淀粉含量最高。

关键词:葵花籽仁;多级精分;粒径;组成差异

中图分类号:TS222+.1;TS227 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)02-0098-05

Comparison of sunflower seed kernels composition with different particle sizes

ZHANG Liwei^{1,2}, GUO Jinting¹, CHEN Jianguo³, XU Yi³, ZHENG Jingcheng^{1,2}, LUO Zhi^{1,2}, HE Dongping^{1,2}, ZHAO Xiaoping³

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Key Laboratory of Bulk Grain and Oil Intensive Processing, Ministry of Education, Wuhan 430023, China;
3. Alashankou Jinmu Biotechnology Co., Ltd., Alashankou 833418, Xinjiang, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the application of sunflower seed kernels grading, sunflower seed were used as raw material, and sunflower seeds were hulled and graded by multi-stage fine separation system to three particle sizes of small (≤ 3 mm), medium (3-4 mm) and large (> 4 mm), and the composition of sunflower seed kernels was compared and analyzed, respectively. The results showed that the oil content of sunflower seed kernels of all particle sizes was more than 60%, the relative content of unsaturated fatty acids in oil was more than 85%, and the sunflower seed kernels with small particle size had the highest oil content and relative content of linoleic acid in oil. The content of crude protein of sunflower seed kernels was 44.93% - 53.33%, and the sunflower seed kernels with large particle size had the highest crude protein and amino acids content. The content of chlorogenic acid of sunflower seed kernels was 26 314.93 - 28 095.98 ng/mg, and the sunflower seed kernels with medium particle size had the highest chlorogenic acid content. The total starch content of sunflower seed kernels was 0.067% - 0.090%, with the highest total starch content in the small particle size sunflower seed kernels. The content of resistant starch was 0.019% - 0.032%, and the sunflower seed kernels with medium particle size had the highest resistant starch content.

Key words: sunflower seed kernel; multi-stage fine separation; particle size; composition difference

收稿日期:2021-11-25;修回日期:2022-10-10

基金项目:2020年度湖北省重点研发计划项目(援疆援藏项目)“葵花籽系列产品的开发与应用”(2020BGB007)

作者简介:张立伟(1987),男,讲师,博士,研究方向为食品生物技术(E-mail)zhangliwei@whpu.edu.cn。

通信作者:郑竟成,教授,硕士生导师(E-mail)jingchengzheng@163.com。

向日葵 (*Helianthus annuus* L.)，一年生菊科向日葵属草本植物^[1]，是我国重要的油料作物之一^[2]。葵花籽中富含油脂，葵花籽油中富含亚油酸、绿原酸、甾醇等多种生物活性物质^[3]。亚油酸是人体必需脂肪酸，具有调节血脂、调节血压、预防心血管疾病等功效^[4]；绿原酸具有抗氧化、抗病毒和抗菌等能力^[5-6]。

葵花籽油加工预处理过程包括除杂、脱壳、干燥等工序。在工厂实际生产中发现，脱壳过程中采用同等脱壳频率会使粒径大的葵花籽脱壳不彻底，而粒径小的葵花籽发生破碎，分离后的葵花籽粒完整性和均一性差。针对此问题，可对葵花籽进行分级处理，针对不同粒径范围的葵花籽采用合适的脱壳频率，使葵花籽脱壳率和破碎率达到要求。虽然目前已经有对葵花籽进行分级的相关研究^[7]，但是脱壳对葵花籽仁组成的影响未见报道。

本研究基于企业中的葵花籽多级精分系统对葵花籽进行分级，经脱壳机脱壳，再对葵花籽仁按粒径范围进行分级，测定不同粒径等级的葵花籽仁的含油量、粗蛋白质含量、氨基酸组成、绿原酸组成、总淀粉含量、抗性淀粉含量及其油脂的脂肪酸组成，比较分析不同粒径范围葵花籽仁的组成差异，旨在为葵花籽仁的分级应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

油葵籽，阿拉山口金牧生物科技有限公司；水稻直链淀粉标准品，中国水稻研究所；葡萄糖、 α -胰淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶，美国 Sigma 公司；D-葡萄糖用葡糖氧化酶/过氧化物酶试剂 (GOPOD)，爱尔兰 Megazyme 公司；乙醇、甲醇、乙腈，分析纯；正己烷、三氟乙酸，色谱纯。

1.1.2 仪器与设备

葵花籽多级精分设备 (包括杂质去除系统、连接运输系统、精分级系统等)，阿拉山口金牧生物科技有限公司；456-GC 气相色谱仪，德国布鲁克公司；氨基酸分析仪，英国百康公司；SKD-1000 全自动凯氏定氮仪，上海沛欧公司；Vanquish 超高效液相色谱仪、Q Exactive 高分辨质谱仪、Multiskan GO 多功能酶标仪，美国赛默飞公司。

1.2 实验方法

1.2.1 葵花籽的分级

采用葵花籽多级精分设备对葵花籽进行分级。葵花籽经过杂质去除系统中的去石机及清理筛，除去小石子、葵花籽杆等杂质，再由连接运输系统运送

至精分级系统，通过筛眼尺寸分别为 $\phi 4.5$ 、 $\phi 3.5$ mm 的振动筛筛选出 3 种粒径大小的葵花籽。不同粒径大小的葵花籽分别经过脱壳机脱壳获得葵花籽仁，考虑到粒径的均匀分布及较好地横向比较不同粒径的葵花籽仁，再将葵花籽仁通过筛眼尺寸分别为 $\phi 4.0$ 、 $\phi 3.0$ mm 的振动筛筛选出不同粒径大小的葵花籽仁样品 (含壳率 $\leq 0.5\%$)。按照不同的粒径宽度分为 3 个组别，分别为 L1 组 (粒径 ≤ 3 mm)、L2 组 ($3 \text{ mm} < \text{粒径} \leq 4 \text{ mm}$) 和 L3 组 (粒径 $> 4 \text{ mm}$)。通过人工筛选确保葵花籽仁颗粒饱满且整仁率为 100%，含壳率为 0。所有样品经过粉碎机粉碎，过 0.15 mm (100 目) 筛，在烘干机中 60℃ 下烘干至含水量低于 7%。

1.2.2 含油量的测定

按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》采用索氏抽提法测定葵花籽仁的含油量。

1.2.3 脂肪酸组成及相对含量的测定

按照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》采用外标法测定葵花籽仁油的脂肪酸组成及相对含量。

1.2.4 粗蛋白质含量的测定

按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》采用凯氏定氮法测定葵花籽仁的粗蛋白质含量。

1.2.5 氨基酸组成及含量的测定

按照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测定葵花籽仁的氨基酸组成及含量。

1.2.6 绿原酸组成及含量的测定

采用高效液相色谱-质谱法测定绿原酸组成及含量。

称取 100 mg 葵花籽仁粉，加入 2 mL 70% 甲醇溶液^[8]，涡旋混匀，超声 30 min，以 12 000 r/min 离心 10 min。取上清液旋转浓缩干燥，加入 1 mL 甲醇溶液^[9]，以 12 000 r/min 离心 10 min，转移上清液至色谱瓶中待上机检测。

液相色谱条件：Waters HSS T3 色谱柱 (50 mm \times 2.1 mm, 1.8 μm)；流动相 A 相为超纯水 (含 0.1% 的乙酸)，B 相为乙腈 (含体积分数为 0.1% 的乙酸)^[10]；流速 0.3 mL/min；柱温 40℃；进样量 2 μL ；洗脱梯度 0~6.0 min A 相与 B 相体积比 9:1, 6.0~8.1 min A 相与 B 相体积比 4:6, 8.1~12.0 min A 相与 B 相体积比 9:1。

质谱条件：采用电喷雾离子源，鞘气 276 kPa；辅

助气 69 kPa;离子喷雾电压 -2 800 V;温度 350 ℃;离子传输管温度 320 ℃;扫描模式为单离子检测(SIM)模式;扫描方式为负离子。按下式计算绿原酸各组分含量。

$$x = C \times V \times F / m \quad (1)$$

式中: x 为绿原酸各组分含量,ng/mg; C 为仪器读取的质量浓度,ng/mL; V 为样品最终定容体积,mL; F 为稀释倍数; m 为样品质量,mg。

1.2.7 总淀粉含量的测定

参考 AOAC Official Method 996.11 测定葵花籽仁的总淀粉含量。

称取 100 mg 葵花籽仁粉于 15 mL 试管中,加入 4 mL 80% 乙醇,在 70 ℃ 下振荡 2 h。以 12 000 r/min 离心 10 min,弃上清液后加 4 mL 80% 乙醇并重复上述步骤 3 次。沉淀物转移至试管中冰浴,加入 2 mL 1 mol/L KOH 溶液振荡 20 min,加入 0.1 mL 淀粉葡萄糖苷酶,用 1.2 mol/L 的醋酸钠缓冲液调节 pH 至 4.0~4.5,在 50 ℃ 下振荡 30 min。以 12 000 r/min 离心 10 min 后,取上清液用蒸馏水定容至 10 mL。取 0.1 mL 上述液体,加入 3 mL GOPOD,在 50 ℃ 下反应 20 min,在 510 nm 处测定吸光度。对照组为 0.1 mL 葡萄糖标准溶液(1 mg/mL)加入 3 mL GOPOD。空白组为 0.1 mL 蒸馏水加入 3 mL GOPOD。按下式计算总淀粉含量。

$$x = \Delta A \times F \times V \times 0.9 / W \quad (2)$$

式中: x 为总淀粉含量; ΔA 为样品的吸光度; F 为 100 μ g 葡萄糖与 100 μ g 葡萄糖吸光度的比值,即吸光度转换为微克葡萄糖的系数; V 为溶液稀释倍数;0.9 为游离葡萄糖转化为淀粉中葡萄糖苷的转化率; W 为样品质量,mg。

1.2.8 抗性淀粉含量的测定

参考 AOAC Official Method 2002.02 测定葵花籽仁的抗性淀粉含量。

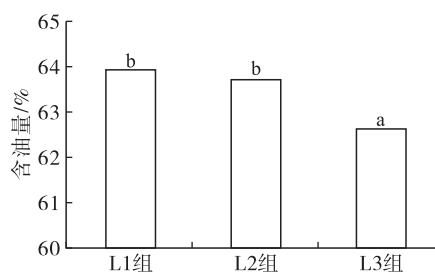
称取 100 mg 葵花籽仁粉于 15 mL 试管中,加入 4 mL α -胰淀粉酶,用 1.2 mol/L 醋酸钠缓冲液调节 pH 至 6.0~6.5,在 37 ℃ 下振荡 16 h。加入 4 mL 无水乙醇混匀,以 1 500 r/min 离心 10 min。弃上清液后加入 8 mL 80% 乙醇,以 1 500 r/min 离心 10 min。重复上述步骤 3 次。将沉淀物转移至试管中冰浴,加入 2 mL 1 mol/L KOH 溶液振荡 20 min,加入 0.1 mL 淀粉葡萄糖苷酶,用 1.2 mol/L 的醋酸钠缓冲液调节 pH 至 4.0~4.5,在 50 ℃ 下振荡 30 min。以 12 000 r/min 离心 10 min,取 0.1 mL 上清液至新的试管中,加入 3 mL GOPOD,在 50 ℃ 下反应 20 min,在 510 nm 处测定吸光度。对照组为

0.1 mL 葡萄糖标准溶液(1 mg/mL)加入 3 mL GOPOD。空白组为 0.1 mL 0.1 mol/L 醋酸钠缓冲液加入 3 mL GOPOD。按公式(2)计算抗性淀粉含量。

2 结果与分析

2.1 不同粒径葵花籽仁含油量及油脂脂肪酸组成

不同粒径葵花籽仁的含油量和油脂脂肪酸组成及相对含量分别见图 1、表 1。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图 1 不同粒径葵花籽仁的含油量

表 1 不同粒径葵花籽仁脂肪酸组成及相对含量 %

脂肪酸	L1 组	L2 组	L3 组
软脂酸	6.44 ± 0.01 ^c	6.17 ± 0.00 ^b	5.48 ± 0.00 ^a
硬脂酸	3.53 ± 0.04 ^a	3.67 ± 0.00 ^a	4.24 ± 0.04 ^b
油酸	18.92 ± 0.06 ^a	21.64 ± 0.02 ^b	28.74 ± 0.13 ^c
亚油酸	69.73 ± 0.16 ^c	67.38 ± 0.03 ^b	60.22 ± 0.20 ^a
花生酸	0.25 ± 0.00 ^a	0.25 ± 0.00 ^a	0.29 ± 0.01 ^b
亚麻酸	0.39 ± 0.03 ^b	0.13 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.00 ^a
山嵛酸	0.75 ± 0.04 ^a	0.76 ± 0.00 ^a	0.86 ± 0.02 ^b

注:同行字母不同表示差异显著($p < 0.05$)。下表同

由图 1 可看出,3 种粒径葵花籽仁的含油量为 62.61%~63.94%,且随着葵花籽仁粒径的增大,含油量呈下降趋势。L3 组的葵花籽仁与其他两组的含油量相比具有显著性差异($p < 0.05$),说明同一品种中,粒径的大小会影响葵花籽仁的含油量,粒径小于或等于 4 mm 的葵花籽仁具有更高的含油量。推测原因,可能是随着葵花籽仁粒径的增大,蛋白质等物质的增长速度大于脂肪的增长速度,导致同等质量下大粒径葵花籽仁的含油量低于小粒径葵花籽仁的。

由表 1 可看出,葵花籽仁油中的脂肪酸主要是亚油酸、油酸、硬脂酸和软脂酸,其中亚油酸的相对含量最高,占总脂肪酸的 60.22%~69.73%,其次是油酸,占总脂肪酸的 18.92%~28.74%,亚油酸的相对含量随着葵花籽仁粒径的增大而降低,油酸的相对含量随着葵花籽仁粒径的增大而增加。结合不同组别葵花籽仁的含油量和油中亚油酸含量分析,粒径小于或等于 3 mm 的 L1 组葵花籽仁在相同质量下有更高的含油量及亚油酸含量。

2.2 不同粒径葵花籽仁粗蛋白质含量及氨基酸组成

不同粒径葵花籽仁粗蛋白质含量见图2。

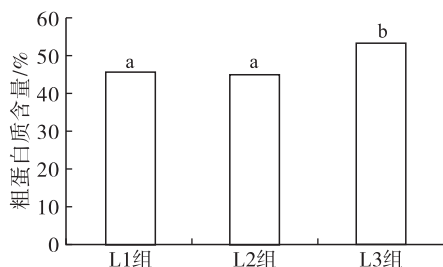


图2 不同粒径葵花籽仁粗蛋白质含量

由图2可看出,3种粒径葵花籽仁的粗蛋白质含量为44.93%~53.33%,且随着葵花籽仁粒径的增大,粗蛋白质含量整体呈上升趋势。L3组葵花籽仁的粗蛋白质含量与其他两组葵花籽仁的相比具有显著性差异($p < 0.05$),其含量分别高出L1、L2组16.52%、18.69%。

不同粒径葵花籽仁氨基酸组成及含量见表2。

表2 不同粒径葵花籽仁氨基酸组成及含量 mg/g

氨基酸	L1组	L2组	L3组
天冬氨酸	13.40 ± 0.12 ^a	15.39 ± 0.50 ^b	17.87 ± 0.08 ^c
苏氨酸	6.10 ± 0.50 ^a	6.80 ± 0.36 ^a	7.83 ± 0.20 ^b
丝氨酸	6.97 ± 0.19 ^a	7.75 ± 0.16 ^a	9.51 ± 0.26 ^b
谷氨酸	27.55 ± 0.08 ^a	32.14 ± 0.50 ^b	37.31 ± 0.72 ^c
甘氨酸	8.64 ± 0.19 ^a	10.12 ± 0.39 ^b	11.55 ± 0.27 ^c
丙氨酸	7.34 ± 0.88 ^a	8.69 ± 0.00 ^{ab}	10.20 ± 0.15 ^b
胱氨酸	0.32 ± 0.00 ^b	0.29 ± 0.01 ^a	0.27 ± 0.00 ^a
缬氨酸	9.18 ± 0.68 ^a	11.11 ± 0.20 ^{ab}	12.25 ± 0.80 ^b
蛋氨酸	4.38 ± 0.00 ^a	4.29 ± 0.19 ^a	5.30 ± 0.11 ^b
异亮氨酸	7.28 ± 1.00 ^a	8.80 ± 0.10 ^{ab}	10.29 ± 0.49 ^b
亮氨酸	11.04 ± 0.16 ^a	13.40 ± 0.02 ^b	14.58 ± 0.52 ^b
酪氨酸	6.12 ± 0.21 ^a	7.09 ± 0.14 ^{ab}	8.14 ± 0.44 ^b
苯丙氨酸	8.34 ± 0.93 ^a	10.17 ± 0.00 ^{ab}	11.72 ± 0.61 ^b
组氨酸	3.80 ± 0.16 ^a	4.76 ± 0.16 ^{ab}	5.53 ± 0.36 ^b
赖氨酸	6.88 ± 0.21 ^a	7.82 ± 0.55 ^{ab}	8.68 ± 0.22 ^b
精氨酸	12.55 ± 0.12 ^a	15.80 ± 0.89 ^b	18.85 ± 0.70 ^c
脯氨酸	7.06 ± 0.00 ^a	8.11 ± 0.39 ^a	9.54 ± 0.12 ^b
总量	146.93 ± 5.41 ^a	172.54 ± 4.55 ^b	199.40 ± 6.04 ^c

由表2可看出,氨基酸总量随着葵花籽仁粒径的增大而增加,其中除了胱氨酸外其他16种氨基酸含量都随着葵花籽仁粒径的增大而增加。葵花籽仁中的主要氨基酸为天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、亮氨酸、精氨酸及缬氨酸,这6种氨基酸的含量约占氨基酸总量的56%,除亮氨酸外的5种主要氨基酸与Feng等^[11]研究得到的葵花籽仁关键氨基酸一致。除缬氨酸及亮氨酸外的其他关键氨基酸在不同组别

葵花籽仁中的含量均具有显著性差异($p < 0.05$)。

综上,L3组葵花籽仁的粗蛋白质及氨基酸含量最高。

2.3 不同粒径葵花籽仁绿原酸组成及含量

绿原酸具有多种生物活性,不但具有良好的抗氧化能力,可以保护心血管,还能抑制细胞突变、抗肿瘤,对艾滋病毒也有一定的抑制作用^[12]。Morimasa等^[13]研究发现,绿原酸的摄入可以改善老年人的注意力和记忆力。陈锡强等^[14]研究表明,新绿原酸对于宫颈癌HeLa细胞的迁移具有抑制作用。Zhou^[15]研究发现,隐绿原酸具有良好的抗糖尿病作用。Su等^[16]研究发现,异绿原酸A和异绿原酸C具有良好的抗炎作用。

表3为不同粒径葵花籽仁绿原酸组成及含量。

表3 不同粒径葵花籽仁绿原酸组成及含量 ng/mg

绿原酸种类	L1组	L2组	L3组
新绿原酸	138.67 ± 1.49 ^a	161.66 ± 6.29 ^b	172.23 ± 4.98 ^b
绿原酸	22 151.76 ± 2.65 ^b	22 759.33 ± 2.70 ^c	21 053.70 ± 6.40 ^a
隐绿原酸	2 641.29 ± 3.78 ^a	2 681.57 ± 1.95 ^b	2 811.00 ± 1.12 ^c
异绿原酸B	352.19 ± 7.61 ^c	186.51 ± 1.05 ^b	165.99 ± 1.27 ^a
异绿原酸A	1 392.41 ± 2.66 ^c	1 251.47 ± 0.76 ^b	1 131.48 ± 4.06 ^a
异绿原酸C	1 269.01 ± 2.96 ^c	1 055.44 ± 2.12 ^b	980.53 ± 9.12 ^a
总量	27 945.31 ± 21.13 ^b	28 095.98 ± 14.86 ^c	26 314.93 ± 26.94 ^a

由表3可看出,葵花籽仁中绿原酸总量为26 314.93~28 095.98 ng/mg,不同粒径葵花籽仁的绿原酸含量存在显著性差异($p < 0.05$),且随着葵花籽仁粒径的增大呈先增后降的趋势,中等粒径葵花籽仁的绿原酸含量最高。Dorrell^[17]研究发现,葵花籽中的绿原酸含量为1.1%~4.5%,与本研究结果相符。绿原酸是一种酚酸类化合物,具有多种同分异构体^[18]。本研究发现,绿原酸在总绿原酸中含量最高,占绿原酸总量的79.27%~81.01%,且随着葵花籽仁粒径的增大呈先增后降的趋势,新绿原酸及隐绿原酸含量随着葵花籽仁粒径的增大而增加,异绿原酸A、异绿原酸B及异绿原酸C的含量随着葵花籽仁粒径的增大而减少。

2.4 不同粒径葵花籽仁总淀粉及抗性淀粉含量

不同粒径葵花籽仁总淀粉及抗性淀粉含量见图3。由图3可看出,葵花籽仁中总淀粉的含量为0.067%~0.090%,且随着葵花籽仁粒径的增大呈显著下降趋势。葵花籽仁中抗性淀粉的含量为

0.019%~0.032%,不同粒径葵花籽仁的抗性淀粉含量具有显著性差异($p < 0.05$),其中L2组葵花籽仁具有更高的抗性淀粉含量。抗性淀粉具有抑制脂肪吸收,稳定体内血糖含量,改善肠胃微生物的作用^[19-20]。综上,3组中粒径小的L1组葵花籽仁总淀粉含量最高,但是抗性淀粉的含量最低,L2组和L3组的总淀粉含量较L1组的低,但是抗性淀粉含量高。

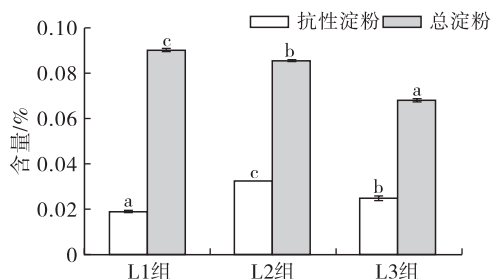


图3 不同粒径葵花籽仁总淀粉及抗性淀粉含量

3 结论

本研究分析比较同一品种不同粒径大小的葵花籽仁组成的差异。结果表明:葵花籽仁含油量及油中亚油酸含量随着粒径的增大而减小;粗蛋白质以及氨基酸的含量随着粒径的增大而增加;绿原酸总量随着粒径的增大呈先升高后降低的趋势;总淀粉含量随着粒径的增大而降低;抗性淀粉含量随着粒径的增大先增后减。同一品种、不同粒径的葵花籽仁组分含量的差异,可能与油葵籽生长发育过程中的代谢差异有关,后续可通过深入分析各组分代谢途径及流向阐明各组分含量差异变化的机制。

参考文献:

[1] GUTIERREZ A, BAFFIGI D S, POVERENE M. Assessment of mating system in *Helianthus annuus* and *H. petiolaris* (Asteraceae) populations [J]. *Helia*, 2020, 43 (72): 15-32.

[2] 胡超,杨陈,黄凤洪. 葵花籽活性成分及生理功能研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2017, 23(10): 58-62.

[3] 胡航伟,林祥娜,汤晓娟,等. 葵花籽生物活性物质及熟制后风味化合物研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 359-364.

[4] 吴洪号,张慧,贾佳,等. 功能性多不饱和脂肪酸的生理功能及应用研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(8): 134-140.

[5] 赵涛. 葵花籽粕中绿原酸和蛋白酶解肽的制备及生物活性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2013.

[6] 王鹏,郭丽,刘爽,等. 绿原酸提取物的抗氧化活性协同增效作用[J]. *北方园艺*, 2021(15): 106-111.

[7] 王帅,郁志宏,敖日格乐,等. 食用葵花籽尺寸分析与均匀性研究[J]. *中国油脂*, 2022, 47(5): 146-152.

[8] RAKESH J, HEIKO M, ANJA M, et al. Identification and

characterization of chlorogenic acids, chlorogenic acid glycosides and flavonoids from *Lonicera henryi* L. (Caprifoliaceae) leaves by LC-MSⁿ [J]. *Phytochemistry*, 2014, 108: 252-263.

[9] ZHUANG J, DAI X, ZHU M, et al. Evaluation of astringent taste of green tea through mass spectrometry-based targeted metabolic profiling of polyphenols [J/OL]. *Food Chem*, 2020, 305: 125507 [2021-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125507>.

[10] GLAUSER G, GRUND B, GASSNER A L, et al. Validation of the mass-extraction-window for quantitative methods using liquid chromatography high resolution mass spectrometry [J]. *Anal Chem*, 2016, 88(6): 3264-3271.

[11] FENG L, LI W P, SHI Q X, et al. Effects of irrigation and nitrogen application rates on protein and amino acid content of sunflower seed kernels [J/OL]. *Water*, 2020, 13(1): 78 [2021-11-25]. <https://doi.org/10.3390/w13010078>.

[12] 刘军海,裘爱泳. 绿原酸及其提取纯化和应用前景[J]. *粮食与油脂*, 2003(9): 44-46.

[13] MORIMASA K, RYUJI O, KAZUYA K, et al. Effect of chlorogenic acid intake on cognitive function in the elderly: a pilot study [J/OL]. *Evid Based Compl Alt*, 2018, 2018: 8608497 [2021-11-25]. <https://doi.org/10.1155/2018/8608497>.

[14] 陈锡强,张云,刘可春. 新绿原酸抑制人宫颈癌 HeLa 细胞迁移的实验研究 [J]. *药物评价研究*, 2021, 44(8): 1588-1593.

[15] ZHOU Y. The protective effects of cryptochlorogenic acid on B-cells function in diabetes in vivo and vitro via inhibition of ferroptosis [J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2020, 13: 1921-1931.

[16] SU X, ZHU Z H, ZHANG L, et al. Anti-inflammatory property and functional substances of *Lonicerae japonicae* Caulis [J/OL]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 267: 113502 [2021-11-25]. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113502>.

[17] DORRELL D G. Chlorogenic acid content of meal from cultivated and wild sunflowers [J]. *Crop Sci*, 1976, 16(3): 422-424.

[18] 宋丹萍,张珊,宋志刚,等. 绿原酸及其异构体功能比较、结构修饰及在动物上应用的研究进展 [J/OL]. *中国畜牧杂志*: 1-16 [2022-10-10]. <https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20211213-03>.

[19] 米红波,邓婷月,李毅,等. 抗性淀粉的消化特性及其在食品中的应用 [J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(9): 9-15.

[20] 李辰,李坚斌,聂卉. 抗性淀粉及其在食品工业中的应用 [J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(1): 141-146.