

碳离子束辐照对紫苏油品质和理化性质的影响

武振华^{1,2,3,4} 王新宇⁴ 薛林贵⁵ 谭勇⁶ 牛炳韬⁴ 赵旭⁵
徐俊泉⁵ 张红^{1,2,3} 王振华^{1,2,3}

¹ (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

² (中国科学院重离子束辐射生物学重点实验室 兰州 730000)

³ (甘肃省重离子束辐射医学应用基础重点实验室 兰州 730000)

⁴ (兰州大学生命科学学院细胞生物学研究所 兰州 730000)

⁵ (兰州交通大学化学与生物工程学院 兰州 730000)

⁶ (石河子大学药学院 石河子 832002)

摘要 利用兰州重离子研究装置(HIRFL)提供的¹²C⁶⁺离子束辐照紫苏干种子,吸收剂量分别为40 Gy、80 Gy和120 Gy,剂量率约4 Gy/min,探讨重离子束辐照对紫苏M1代紫苏油品质和理化性质的影响。结果表明:随着碳离子束吸收剂量的升高,和正常对照组相比,紫苏油粗蛋白含量降低,总糖含量升高;紫苏油中碘值降低,皂化值升高,但过氧化值、酸值和色泽变化不大;紫苏油脂肪酸组成中油酸含量逐渐升高,亚麻酸、月桂酸、棕榈酸和硬脂酸含量都逐渐降低,但亚油酸含量变化不大。提示:碳离子束辐照后,M1代紫苏的紫苏油主要理化指标变化不大,但不饱和程度有所升高,有利于紫苏油品质的改善。

关键词 紫苏油, 碳离子束, 品质, 辐照

中图分类号 TL99

紫苏(*Perilla frutescens* (L.) Britt), 别名荏子、赤苏、红苏等, 唇形科一年生草本植物, 是一种具有很高利用价值的食药两用植物, 全草入药, 在我国有悠久的种植历史, 栽培广泛, 资源丰富, 成本较低, 是60种卫生部首批的食药两用物品之一^[1-3], 现已成为国内外医疗保健、食品、化工等领域专家研究的热点^[4,5]。紫苏油是从紫苏种子中提取的食用油, 含人体必需的脂肪酸— α -亚麻酸, 含量高达56.14%—64.82%, 该脂肪酸在人体中能够转化为代谢必要的生命活性因子DHA和EPA(俗称“植物脑黄金”)。紫苏油不含胆固醇, 具有降血脂、抗过敏、降血压、健脑、抗衰老和抗癌等保健功能和医药功效。

重离子是一种新兴的诱发突变源, 由于其在诱变生物学方面有着传能线密度(Linear energy transfer, LET)高、独特的电离峰(Bragg峰)、突变率高、突变谱广、突变性状易稳定且正向变率高、可精确控制入射深度和部位等独特优势, 倍受研究

者的关注, 在生命科学研究领域具有重要地位^[6-8]。重离子辐照不仅有能量传递, 还有质量沉积和电荷交换, 这些复杂的作用方式导致了对生物体更为复杂的生物学效应。其诱变机理较复杂, 可能是碳离子束作用于生物靶分子, 发生原子碰撞、级联碰撞和溅射, 能量沉积到一定距离时便急剧释放, 形成Bragg峰, 若Bragg峰恰好落在生物靶分子的遗传物质时, 便可能引起DNA的单链或双链断裂, 从而引起染色体结构的变异, 造成染色体的倒位、易位、重复和缺失等, 当损伤的DNA在修复时, 若受到一些因素的干扰引起DNA双链错配修复等, 将产生一些突变, 如株高突变和抗性突变等。近年来, 中国科学院近代物理研究所利用重离子束开展了多种植物材料的辐照育种研究工作, 重离子诱变育种现已发展成为植物育种的一种新途径^[9,10]。但重离子束辐照诱变紫苏时对紫苏油品质和理化性质方面的研究鲜有报道, 本研究利用中国科学院近代物理研究所兰州重离子研究装置(HIRFL)提供的

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973计划, 2010CB834202)、国家自然科学基金重点项目(10835011)、国家自然科学基金项目(11175222)、甘肃省自然科学基金(0803RJZA074)和中国科学院地合作项目(Y160040YDO)资助

第一作者: 武振华, 男, 1973年7月出生, 2006年7月于兰州大学获细胞生物学专业理学硕士学位, 现为兰州大学细胞生物学专业在读博士研究生, 目前中国科学院近代物理研究所从事辐射生物学效应方面的研究工作, 助理研究员, E-mail: wuzhh@impcas.ac.cn

通讯作者: 张红, 博士, 研究员, E-mail: zhangh@impcas.ac.cn

收稿日期: 初稿 2012-08-10, 修回 2012-09-15

$^{12}\text{C}^{6+}$ 束辐照紫苏干种子,然后在其 M1 代收获种子,从酸值、碘值、皂化值、过氧化值以及脂肪酸组成等方面,重点考察了重离子束辐照对紫苏油品质和理化性质的影响,以期为重离子束辐照诱变紫苏,改善紫苏油品质提供一定的实验依据。

1 实验材料与方法

1.1 材料、仪器及试剂

紫苏干种子由兰州大学生命科学学院细胞生物学研究所王新宇教授馈赠。663-30 气相色谱仪,日本日立公司;所用试剂均为分析纯。

1.2 辐照处理方法

辐照实验在中国科学院近代物理研究所兰州重离子研究装置(HIRFL)生物辐照终端进行。初始能量为 80 MeV/u 的碳离子束经过束流管道的镍窗、电离室、空气、降能片后抵达样品(植物种子)进行照射,用空气电离室监测注入量,样品更换和数据获取均由计算机控制,全部过程在室温和大气环境条件下进行,选取籽粒饱满、大小均匀、无破损、无霉菌污染的紫苏干种子。将种子随机装在一个直径为 3.5 cm 的细胞培养皿内,吸收剂量分别设为 0、40、80 和 120 Gy,剂量率为 4 Gy/min,以未经辐照的种子作为对照。

1.3 大田试验

大田实验在兰州交通大学化学与生物工程学院试验田进行。每个剂量的种子先温室育苗,40 d 后按吸收剂量随机移栽入试验田小区。每个小区面积约 4 m × 6 m,行距 50 cm,株距 30 cm,试验田周围设约 1 m 的保护行。试验地肥力均匀,地形平整,每个小区除种子的吸收剂量有差异外,其它各条件基本保持一致。

1.4 理化特性分析

成熟时收取种子,根据实验分组分别检测以下生理生化指标:酸值,按 GB/T5530-1998 的方法测定;皂化值,按 GB/T5534-1995 的方法测定;碘值,按 GB/T5532-2008 动植物油脂碘值的测定;过氧化值(POV),按 GB/T5538-1995 的方法测定。

1.5 脂肪酸组成及含量分析

脂肪酸的组成及含量采用气相色谱法测定,峰面积归一计算,以相对百分率表示。色谱条件:载气为高纯氦气,流速 35 mL/min;柱型 6% DEGS,3 mm × 2 m;柱温 195℃;进样口温度 250℃;检测器接口温度 250℃;氢气压力 1.8 kg/cm²;空气压力 1.2 kg/cm²。

1.6 统计学处理

各组实验都做两次重复,数据采用“均数±标准差($\bar{x} \pm s$)”表示,组间差异的显著性用 *t* 检验方法处理。

2 结果与分析

2.1 碳离子束辐照处理对 M1 代紫苏籽粒品质的影响

经不同吸收剂量 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束辐照之后,紫苏 M1 代籽粒中各成分含量变化见表 1。和对照组(CK)相比,粗蛋白含量先降低,然后随吸收剂量逐渐升高,但整体都明显低于对照组($p_a < 0.05$, $p_b < 0.01$);总糖含量随吸收剂量提高,且有剂量效应关系($p_a < 0.05$);赖氨酸和粗纤维含量都随吸收剂量的增大而降低;粗灰分和水分含量都比对照组有所升高($p_b < 0.01$),但没剂量效应关系;单宁含量变化不大。

表 1 碳离子束辐照对 M1 代紫苏籽粒品质的影响
Table 1 Effects of carbon ion beams irradiation on the quality characteristics of M1 generation *perilla* seeds

剂量组 Groups	粗蛋白 /g·kg ⁻¹ Crude protein	赖氨酸/g·kg ⁻¹ Lysine	粗灰分/g·kg ⁻¹ Crude ash	单宁/g·kg ⁻¹ Tannins	粗纤维/g·kg ⁻¹ Crude fiber	总糖/g·kg ⁻¹ Total sugar	水分/% Moisture
CK	9.23±0.61	7.57±0.25	41.8±2.53	8.45±0.65	202.6±11.25	118.9±9.08	5.16±0.38
40 Gy	5.37±0.49 ^b	6.22±0.29	49.5±5.16	8.76±0.37	193.0±23.34	134.6±12.05	5.72±0.54
80 Gy	6.18±0.55 ^{aa}	6.24±0.86	48.8±7.23	8.62±0.32	190.3±19.86	138.5±24.61	5.49±0.22
120 Gy	6.35±0.98 ^a	6.46±0.63	55.1±6.33 ^b	8.49±0.78	188.7±22.05	144.9±18.87 ^a	5.54±0.19

注: ^a, $p < 0.05$; ^b, $p < 0.01$ 相比对照组。

Note: ^a, $p < 0.05$; ^b, $p < 0.01$ vs. normal control group (CK).

2.2 碳离子束辐照处理对 M1 代紫苏油主要理化指标的影响

研究发现，重离子束辐照处理对紫苏油的一些主要理化指标，包括酸值、碘值、皂化值和过氧化值等产生了不同程度的影响（见图 1）。和正常对

照组相比，随吸收剂量的增大，碘值先降低而后逐渐回升，但在所有实验组中都低于对照组；皂化值随吸收剂量的增大而升高，且都有剂量效应关系；过氧化值和酸值都略有浮动，但变化不大，没统计学意义；紫苏油色泽在不同处理组之间也变化不大，均为淡黄色、澄清、透明。

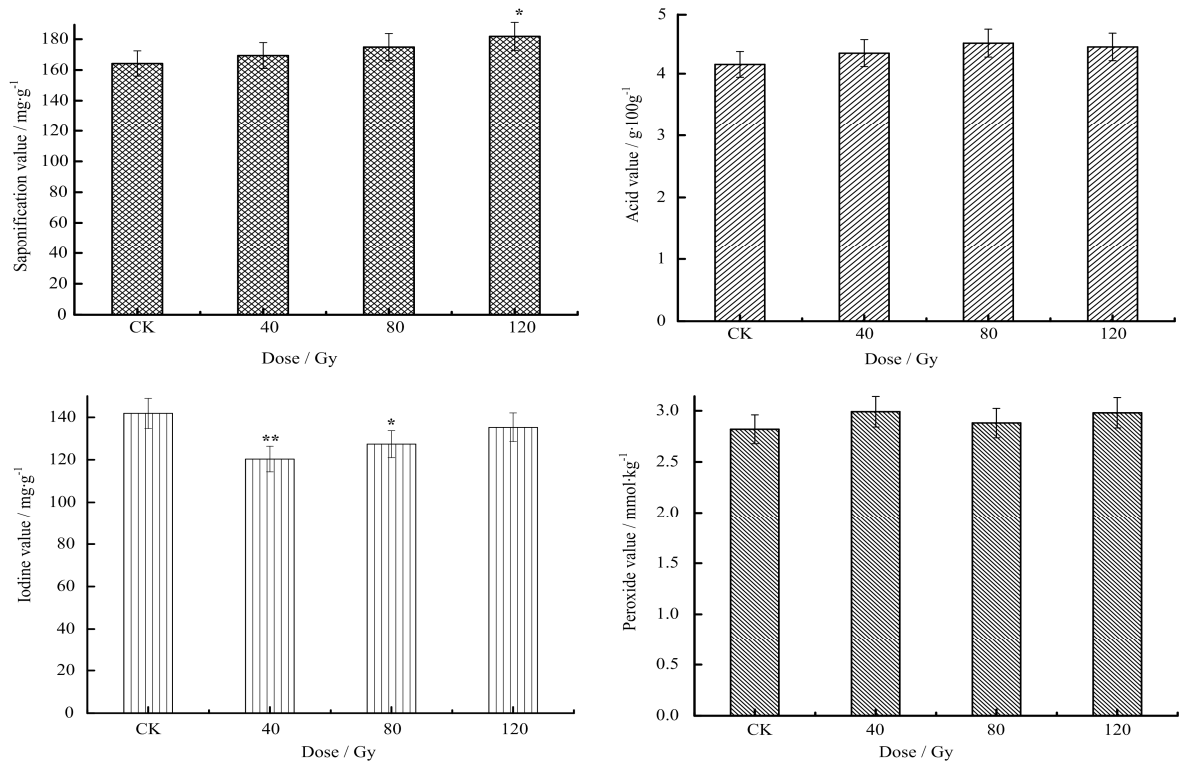


图 1 碳离子束辐照对 M1 代紫苏油主要理化性质的影响 * $p<0.05$, ** $p<0.01$ 相比对照组
Fig. 1 Effects of carbon ion beams irradiation on the physic-chemical quality of M1 generation *perilla*-oil
* $p<0.05$, ** $p<0.01$ vs. normal control group(CK)

2.3 碳离子束辐照对 M1 代紫苏油脂肪酸组成及含量的影响

紫苏油脂肪酸主要包括油酸、亚油酸、亚麻酸和棕榈酸等，还含有少量硬脂酸和月桂酸。研究结果表明，经不同吸收剂量的 ¹²C⁶⁺ 离子束辐照处理

后，M1 代紫苏的紫苏油中脂肪酸组成及含量变化如表 2 和表 3 所示。和对照组相比，随碳离子束吸收剂量的增加，油酸含量逐渐升高且有剂量效应关系；亚油酸含量变化不大；亚麻酸、棕榈酸、月桂酸和硬脂酸含量都降低，其中硬脂酸和月桂酸含量的降低与辐照剂量也有剂量效应关系。

表 2 碳离子束辐照对 M1 代紫苏油中饱和脂肪酸组成和含量的影响

Table 2 Effects of carbon ion beams irradiation on the composition and content of saturated fatty acids of M1 generation <i>perilla</i> -oil			
剂量组 Groups	饱和脂肪酸/ % Saturated fatty acids		
	棕榈酸 Palmitic acid	月桂酸 Lauric acid	硬脂酸 Stearic acid
CK	9.23±0.95	2.66±0.51	0.72±0.061
40Gy	5.37±0.58 ^b	2.41±0.37	0.71±0.074
80 Gy	8.05±0.90	2.22±0.26	0.50±0.048 ^a
120 Gy	9.18±0.49	2.09±0.43	0.22±0.032 ^b

注：^a, $p<0.05$; ^b, $p<0.01$ 相比对照组。
Note: ^a, $p<0.05$; ^b, $p<0.01$ vs. normal control group (CK).

表3 碳离子束辐照对 M1 代紫苏油中不饱和脂肪酸组成和含量的影响

Table 3 Effects of carbon ion beams irradiation on the composition and content of unsaturated fatty acid of M1 generation *perilla*-oil

剂量组 Groups	不饱和脂肪酸/% Unsaturated fatty acid		
	亚麻酸 Linolenic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid
CK	58.26±6.28	18.14±1.58	13.69±6.43
40 Gy	59.81±4.95	19.41±5.62	14.41±3.35
80 Gy	53.86±7.63 ^a	22.55±4.37 ^a	13.59±8.46
120 Gy	52.89±1.82 ^a	23.56±6.69 ^a	13.97±4.52

注: ^a, $p < 0.05$ 相比对照组。Note: ^a, $p < 0.05$ vs. normal control group (CK).

3 讨论

随着高科技核能在科技、农业、医学和军事领域的广泛应用,越来越多的学者把重离子束诱变技术应用到了植物领域。近些年来,很多学者报道了重离子束辐照诱变植物的 M1 代生物学效应,获得了一定的证据和成果,如重离子束辐照后表型上表现为是叶片皱缩、卷曲、叶片长宽比变化^[11,3];发芽率和成苗率下降^[12-14,3];田间存活率曲线为“类马鞍型”^[8]或“抛物线”^[3];抗氧化能力和抗逆性增强^[12,15];千粒重和单株产量降低^[3]等,有的结果还存在争议,但有关重离子辐照对紫苏油品质和理化性质方面的研究未见报道。

脂肪酸是生物体的重要组成成分,在维持生物体的正常生命活动中具有重要功能。研究表明,脂肪酸组分是衡量油料作物籽粒品质的基础,有关辐照对紫苏后代籽粒脂肪酸组成及其变化规律的研究国内外鲜有报道。亚油酸含量是评价油脂品质的重要标准之一,它对软化血管和防止人体内血清中胆固醇的增加和沉积,预防心血管疾病有着重要作用,其含量高低与油脂品质和营养价值成正比^[11]。也有研究表明亚麻酸对维持细胞膜的稳定性和提高抗逆性具有重要作用^[11]。因此,从人体保健和商业价值的角度,改良紫苏品质的策略,应是在降低饱和脂肪酸(如棕榈酸、硬脂酸)的同时,提高不饱和脂肪酸指数,调整不饱和脂肪酸的配比,提高亚油酸含量,适当降低亚麻酸含量^[16,17]。本研究中,经不同剂量的碳离子束辐照后,饱和脂肪酸含量总体都有所下降,不饱和脂肪酸中油酸含量随辐照剂量的提高而有所升高,亚油酸含量提高不明显,但亚麻酸含量有所降低,不饱和脂肪酸指数有所提高,符合上述紫苏品质改良的策略。此外,紫苏油中油酸和亚油酸的比例接近 1:1,符合国际卫生组织推荐的油酸和亚油酸比例为 1:1 的最佳比例^[18]。该研究表明,碳离子束辐照诱变紫苏突变体时,在一定剂量上辐照有利于紫苏后代紫苏油中脂肪酸组成的分配,具有一定的现实意义,对紫苏后代紫苏油品质和理化性质没有负面影响。可能是由于辐照激活了紫苏油中不饱和脂肪酸合成和积累的一些生化酶活性,如不饱和脂肪酸合成途径中的关键限速

酶 Δ^6 -脂肪酸脱氢酶(Fatty acid desaturase, FAD)的活性,催化并与载体结合的脂肪酸在脂酰链上脱氢形成双键,从而提高了不饱和脂肪酸的含量和不饱和指数。

酸值是食用油脂国家标准的强制指标,游离脂肪酸的存在易导致油脂氧化,烟点降低,酸值升高,从而使油脂的品质降低,一般来说,酸值大于 5 的油脂是不合格油脂。皂化值与油脂所含脂肪酸相对分子质量有关,含有游离脂肪酸将使皂化值增高,皂化值也能在一定程度上可以反映油脂的纯度^[19]。皂化值越高,说明脂肪酸的链长越短,相对分子质量越小。碘值是表示有机化合物中不饱和程度的一种指标,是指 100 g 物质中所能吸收(加成)碘的克数,主要用于油脂、脂肪酸、蜡及聚酯类等物质的测定,一般来说,不饱和程度愈大,碘值愈高。在本研究中,不同剂量的碳离子束辐照后,酸值有所升降,但都低与 5,且变化不大,没统计学意义。皂化值也略有升高,这可能是由于植物油脂中存在着大量的极性分子,在紫苏油提取过程中将产生一定程度的热效应,解酯酶活性增强,油脂水解产生大量的游离脂肪酸,使皂化值增高。此外,本研究中碳离子束辐照使紫苏油中碘值有所升高,这和脂肪酸组成的测定结果一致,体现了辐照有利于不饱和脂肪酸合成途径中关键限速酶 Δ^6 -脂肪酸脱氢酶活性的调节,使得紫苏后代紫苏油中脂肪酸组成的分配发生变化,不饱和程度有所增大。

油脂的过氧化值主要反映的是油脂中氢过氧化物的含量,常用来衡量油脂初期被氧化的程度,不能全面反映氧化程度较深的油脂^[20-21]。氢过氧化物分解成醛、酮、酸等小分子物质后会产生令人不愉快的味道(哈味)。因此过氧化值的测定和感官评定结合起来,能比较客观地反映油脂的氧化稳定性。过氧化值越高,表明油脂被氧化的程度越严重,反之亦然。在该研究中,紫苏油中过氧化值有所起伏,但变化不大,这说明碳离子束辐照对紫苏后代籽粒紫苏油的抗氧化能力影响不大。过氧化值的轻微变化可能是由于紫苏油提取时温度有所变化或提取时间的长短控制不太一致所致。

总体而言,重离子束辐照以后,紫苏油的皂化值和酸值在正常的范围内,说明长链的脂肪酸较多,

符合我国食品卫生标准的规定^[18]；虽然过氧化值变化不大，但说明碳离子束辐照对紫苏油品质并无副作用；碘值有所升高，说明辐照能使紫苏油中脂防酸的不饱和程度提高，有利于紫苏油品质的改善。

4 问题与展望

国内外研究人员对重离子束辐照的剂量效应、LET 效应等已经进行了比较系统的研究，但还存在着一些问题，如诱变的分子生物学机理仍不清楚，还需要进一步探索；辐射诱变的范围还不够广，植物种类较少，尤其不同植物、组织和器官等对射线的敏感性不同，从农作物到花卉，再到药用植物，从不同组织到不同器官，应该建立一个广阔的辐照诱变育种技术体系，提高辐照诱变效率；诱变引发的植物次生代谢产物以及产量积累的分子机制和规律模糊，应该加强重离子束注入技术在植物次生代谢物和产量积累上的定向诱变研究，提高植物诱变育种的整体水平；突变体筛选周期长，耗时多，应加强高通量突变体筛选的技术研究等。总之，目前世界辐照诱变研究方兴未艾，应继续发挥辐照诱变育种的独到优势，并与现代生物技术相结合，如采用生物芯片技术、蛋白组学、基因组学等各种分子生物学手段对离子束辐照植物后的基因转录、基因调控、蛋白质表达、信号通路等进行深入研究，进而阐明植物辐照诱变的分子机理；利用在基因组靶向定位诱导损伤技术基础上发展起来的自然群体中等位基因变异技术和基因芯片等技术，高通量快速筛选突变体，为诱变创造抗逆性强、生长周期短、有效产量高的植物资源做出更大的贡献。

参考文献

- 1 刘月秀, 张卫明, 钱学射. 紫苏属植物的研究与利用[J]. 中国野生植物资源, 1996(3): 24
LIU Yuexiu, ZHANG Weiming, QIAN Xueshe. The research and utilization of parilla[J]. Chin Wild Plant Resour, 1996(3): 24
- 2 张洪, 黄建韶, 赵东海. 紫苏营养成分的研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 41-43
ZHANG Hong, HUANG Jianshao, ZHAO Donghai. Investigation of the nutritional contents of parilla[J]. Food Machin, 2006, 22(2): 41-43
- 3 武振华, 张红, 王新宇, 等. $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束辐照紫苏干种子当代效应[J]. 原子核物理评论, 2010, 27(3): 335-340
WU Zhenhua, ZHANG Hong, WANG Xinyu, et al. Effects of irradiation with $^{12}\text{C}^{6+}$ ions on M1 characters of perilla frutescens (L.) brit [J]. Nucl Phys Rev, 2010, 27(3): 335-340
- 4 张燕平, 张虹, 王维华, 等. 苏子油的精炼及 α -亚麻酸的纯化研究[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(1): 44-43
ZHANG Yanping, ZHANG Hong, WANG Weihua, et al. Refinement of perilla seed oil and purification of α -linolenic acid from oil [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 1999, 14(1): 44-43
- 5 辉国钧, 葛发欢, 王海波, 等. 超临界- CO_2 萃取工艺在紫苏子脂肪酸油提取中的应用研究[J]. 中国医药工业杂志, 1996, 27(2): 51-53
HUI Guojun, GE Fahuan, WANG Haibo, et al. Supercritical- CO_2 fluid extraction of fatty oils from Perilla frutescens seeds [J]. Chin J Pharm, 1996, 27(2): 51-53
- 6 余增亮. 离子束生物技术引论 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1996: 223-240
YU Zengliang. On ion beam applied to bio-tech [M]. Hefei: Anhui Science Technique Press, 1996: 223-240
- 7 王志东. 我国辐射诱变育种的现状分析[J]. 同位素, 2005, 18(3): 183-185
WANG Zhidong. The progress of radiative mutation breeding in China [J]. J Isot, 2005, 18(3): 183-185
- 8 董喜存, 李文建, 何金玉, 等. 碳离子束对甜高粱诱变的当代效应 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2007, 25(6): 359-362
DONG Xicun, LI Wenjian, HE Jinyu, et al. Current effect of irradiation with $^{12}\text{C}^{6+}$ ions beam on mutation of sweet sorghum [J]. J Radiat Res Radiat, 2007, 25(6): 359-362
- 9 侯岁稳, 孙兰弟, 张颖聪, 等. $^{12}\text{C}^{6+}$ 重离子辐照油菜诱变效应研究[J]. 核技术, 2008, 31(6): 449-454
HOU Suiwen, SUN Landi, ZHANG Yingcong, et al. Mutagenic effects of brassica napus by $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beam[J]. Nucl Tech, 2008, 31(6): 449-454
- 10 官梅, 李梅. ^{12}C 重离子辐照对油菜 (B. napus) 的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32(6): 878-884
GUAN Mei, LI Xun. Effect of ^{12}C heavy ion beams irradiation on rapeseed (Brassica napus)[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(6): 878-884
- 11 余丽霞, 李文建, 陈学君, 等. 离子束辐照对玉米诱变效应的初步研究[J]. 辐射研究与 辐射工艺学报, 2010, 28(3): 161-165
YU Lixia, LI Wenjian, CHEN Xuejun, et al. Preliminary study on mutagenic effects of heavy ions irradiation on maize inbred lines [J]. J Radiat Res Radiat, 2010, 28(3): 161-165
- 12 司婧, 张红. $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束辐照番茄种子当代效应[J]. 原子核物理评论, 2011, 28(3): 349-353
SI Jing, ZHANG Hong. Effects of irradiation with $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beam on M1 characters of lycopersicon esculentum mill [J]. Nucl Phys Rev, 2011, 28(3): 349-353
- 13 颜红梅, 郝冀芳, 卫增泉, 等. 重离子束对牧草的改良

- [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2004, **22**(1): 61-64
- XIE Hongmei, HAO Jifang, WEI Zenquan, *et al.* Improvement of herbage by heavy ion beams [J]. J Radiat Res Radiat Process, 2004, **22**(1): 61-64
- 14 罗红兵, 赵葵, 郭继宇, 等. 重离子辐照玉米种子 M1 代诱变效应研究 [J]. 原子核物理评论, 2004, **21**(3): 238-242
- LUO Hongbing, ZHAO Kui, GUO Jiyu, *et al.* Study of M1 mutagenic effects of heavy ion irradiation on maize seeds [J]. Nucl Phys Rev, 2004, **21**(3): 238-242
- 15 薛林贵, 徐俊泉, 张红, 等. $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束辐照对紫苏生理特性的影响 [J]. 核技术, 2011, **34**(4): 267-272
- XUE Lingui, XU Junquan, ZHANG Hong, *et al.* Effect of $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beam irradiation on physiological characteristics of Perilla [J]. Nucl Tech, 2011, **34**(4): 267-272
- 16 尹田夫. 大豆油脂脂肪酸改良与生化育种策略 [J]. 大豆科学, 1988, **7**(1): 75-79
- YIN Tianfu. Improvement on fatty acid of oil lipid and strategy of biochemistry breeding in soybean [J]. Soybean Sci, 1988, **7**(1): 75-79
- 17 Fehr W R. Breeding for modified fatty acid composition in soybean [J]. Crop Sci, 2007, **47**(S3): S72-S87
- 18 李薇, 熊华. 米渣残油的提取及其脂肪酸组成分析 [J]. 食品工业科技, 2009, **30**(10): 217-219
- LI Wei, XIONG Hua. Extraction of rice residue oil and composition analysis of its fatty acid [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, **30**(10): 217-219
- 19 何东平. 油脂精炼与加工工艺学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 248
- HE Dongping. Oil refining and processing technology [M]. Beijing: Chemistry Industry Press. 2005: 248
- 20 汤峰. 油脂化学 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1985: 224-225
- TANG Feng. Grease chemical [M]. Nanchang: Jiangxi Science & Technology Press, 1985: 224-225
- 21 张京芳, 杜林, 王冬梅. 不同提油方法对香椿籽油特性的影响 [J]. 中国粮油学报, 2009, **24**(6): 67-71
- ZHANG Jingfang, DU Lin, WANG Dongmei. Effects of different extraction methods on properties of toona sinensis seed oil [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2009, **24**(6): 67-71

Effects of carbon ion beams irradiation on the quality characteristics and physico-chemical quality of *perilla*-oil

WU Zhenhua^{1,2,3,4} WANG Xinyu⁴ XUE Lingui⁵ TAN Yong⁶ NIU Bingtao⁴
ZHAO Xu⁵ XU Junquan⁵ ZHANG Hong^{1,2,3} WANG Zhenhua^{1,2,3}

¹(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

²(Key Laboratory of Heavy Ion Radiation Biology and Medicine of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

³(Key Laboratory of Heavy Ion Radiation Medicine of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

⁴(Institute of Cell Biology, School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

⁵(The School of Chemical and Biological Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730000, China)

⁶(College of Pharmaceutical, Shihezi University, Shihezi 832002, China)

ABSTRACT The dry seeds of *perillafrutescens*(L.) were irradiated with $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beams with a dose of 0, 40, 80, and 120 Gy, respectively, at a dose rate of 4 Gy/min generated from the Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL). The results showed that M1 generation quality characteristics of *perilla* seeds had some changes after irradiation with $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beams, such as crude protein yields decreasing while total sugar content increased. The iodine value decreased while the saponification value increased, but the acid value, peroxide value and colour of *perilla*-oil had little change. Furthermore, these findings suggested that carbon ion beam irradiation increased the contents of oleic acid, and decreased the contents of palmitic acid, lauric acid, stearic acid and linolenic acid, but hardly affected the contents of linoleic acid. All these data suggest that $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beam irradiation could increase the "degrees of unsaturation" of *perilla*-oil to improve its quality, although it had little effect on the physico-chemical quality of first generation *perilla*-oil.

KEYWORDS *Perilla*-oil, Carbon ion beams, Quality, Irradiation

CLC TL99