

不同品种(系)红花芽苗菜产量和品质研究

Yield and quality of the sprouts from different safflower varieties (lines)

朱小庆 杜维维 王庆 侯凯 肖人峰 吴卫

ZHU Xiao-qing DU Wei-wei WANG Qing HOU Kai XIAO Ren-feng WU Wei

(四川农业大学农学院, 四川 成都 611130)

(Agronomy College, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

摘要:旨在研究红花种子不同亚油酸含量与其芽苗菜的质量关系,为红花芽苗菜的科学生产提供参考。对8个不同亚油酸含量的品种(系)红花芽苗菜产量和品质进行分析比较。结果显示,种子中PI305192亚油酸含量最高,其芽苗菜下胚轴长度和可食鲜重均最大,鲜重显著($P < 0.05$)高于PI544040及其他品种(系)。川红1号和PI198294亚油酸含量极显著($P < 0.01$)低于PI305192,但又极显著高于PI401479和PI470942,其中川红1号芽苗菜可溶性蛋白含量最高,与PI305192和PI198294相比差异不显著;游离氨基酸和可溶性糖含量,PI198294和川红1号极显著高于其他品种(系);总多酚含量以川红1号、PI198294和PI544040较其他品种(系)高;川红1号总黄酮含量高,PI198294总黄酮含量也不低。说明川红1号和PI198294芽苗菜品质较优。试验还发现,红花种子亚油酸含量与芽苗菜的可食鲜重、可食干重及可溶性蛋白含量极显著正相关,而种子油酸含量则与上述指标呈极显著负相关。总体上,种子亚油酸含量高的品种(系),其芽苗菜产量和部分品质较油酸含量高的品种(系)相对更好。

关键词:红花;品种(系);芽苗菜;产量;品质

Abstract: This paper is aimed at studying the relationship between the safflower seeds with different linoleic acid content and its sprouts quality, to provide reference for the scientific production of safflower sprouts. The yield and quality of the safflower sprouts from 8 varieties (lines) with different linoleic acid content were analyzed and compared. The results showed linoleic acid content of PI305192 in seeds was the highest. The hypocotyl length and edible fresh weight of PI305192 sprouts were the highest, its edible fresh weight was significantly higher than that of other varieties (lines) except for

PI544040. The contents of linoleic acid of Chuanhong No. 1 and PI198294 was significantly lower than that of PI305192, but significantly higher than that of PI401479 and PI470942. Among them, the content of soluble protein in Chuanhong No. 1 sprouts was the highest, but there was no significant difference compared with PI305192 and PI198294. The contents of free amino acid and soluble sugar of PI198294 and Chuanhong No. 1 was significantly higher than the other varieties (lines). The total polyphenol content in Chuanhong No. 1, PI198294 and PI544040 were higher compared to other varieties (lines). The total flavonoid content in Chuanhong No. 1 was high; while the content of total flavonoids in PI198294 was not low. Therefore, Chuanhong No 1 and PI198294 sprouts had a better quality. It was also found that the content of linoleic acid in safflower seeds was significantly positively related to edible fresh weight, edible dry weight and soluble protein content of sprouts, while the oleic acid content in safflower seeds showed significant negative correlation above indexes. Overall, yield and quality of safflower varieties (lines) which had higher oleic acid content was relatively better. The results of this study can be used to guide the production of safflower sprouts.

Keywords: safflower; varieties (lines); sprouts; yield; quality

红花(*Carthamus tinctorius* L.)又名红蓝花,为菊科植物,其干燥管状花入药^[1],具有活血通络、祛瘀止痛之功效^[2]。在中国红花已有2100多年的栽培历史,主要分布于新疆、河南、四川、云南、江苏、浙江、安徽等省。红花含有多种化学成分,花中主要含有黄酮类、木脂素类和多萜类等物质,其中黄色素、红色素不仅可做药用,还能做天然的食用色素,是理想的食品添加剂,还是高档化妆品、纺织品的染色剂^[3]。籽粒中油脂主要以棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸为主,其中亚油酸含量可达80%以上^[4]。

关于红花芽苗菜的研究在培养温度^[5]、播种密度^[6]、二氧化氯^[7]和光质^[8]等方面国内外已有报道。红花种质资源丰富,不同品种(系)籽粒中亚油酸、油酸含量也不一致^[9],目前对红花芽苗菜的研究往往仅针对单一品种(系)进行,不同

基金项目:国家自然科学基金(编号:81274020);四川省教育厅项目(编号:15ZB0019)

作者简介:朱小庆,女,四川农业大学在读硕士研究生。

通信作者:吴卫(1970—),女,四川农业大学教授,博士生导师,博士。

E-mail: ewuwei@sicau.edu.cn

收稿日期:2017-12-18

脂肪酸类型的品种(系)红花种子生产出的芽苗菜是否存在产量和品质差异尚未见报道。本试验拟以不同亚油酸含量的8个品种(系)红花种子分别生产芽苗菜,分析各品种(系)芽苗菜的产量和品质,旨在探讨红花种子亚油酸含量与其芽苗菜质量间关系,并筛选出适宜红花芽苗菜生产的品种(系),为红花芽苗菜的科学生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

8个红花品种(系)种子为当年新采收,均系本课题组多年选育所得,其中川红1号最初由雅安三九药业提供,其他最初均由美国种质资源库(Germplasm Resources Information Network, GRIN)提供;

水合茛三酮、抗坏血酸、亮氨酸、萘酚、牛血清白蛋白、考马斯亮蓝 G-250、水杨酸、福林酚、碳酸钠、没食子酸、芦丁、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

乙醇、冰醋酸、蔗糖、浓硫酸、甲醇、甲苯、二甲氧基丙烷:分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

光照培养箱:PGX 多段可编程型,宁波东南仪器有限公司;

电子分析天平:CP224S 型,德国赛多利斯公司;

电子恒温水浴锅:DZKWZ-4 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-3AB 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

高速冷冻离心机:Allerra X-30R Centifuge 型,美国 Beckman Contrifuge 公司;

酶标仪:Multiskan GO 型,美国 Thermo Scientific 公司;

紫外-可见光光度计:UV2450 型,日本 Shimadzu 公司;

气质联用仪:Agilent 6890-5973N 型,美国 Agilent 公司。

1.2 芽苗菜培养

本试验在四川农业大学特用植物生产学系多功能光照培养箱内进行,红花种子流水冲洗过夜(16~18 h)后,播种在 12 cm×12 cm×6 cm 的种子发芽盒中,河沙做介质,每盒播种 100 粒种子,3 次重复,保持发芽床湿润,黑暗下 25℃ 培养 5 d 后取样测定各项指标。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 生长指标 对角线选取 15 株红花芽苗,用直尺测量下胚轴长度,万分之一天平测定 15 株样品可食鲜重,将鲜样置于 105℃ 杀青 10 min,80℃ 烘干后至恒重得干质量,并计算含水量。

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——含水量, %;

m_1 ——初始鲜质量, g;

m_2 ——干质量, g。

1.3.2 脂肪酸组成及相对含量 参照文献[10]。

1.3.3 可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖和硝酸盐含量

参照文献[11],分别采用考马斯亮蓝 G-250 染色法、茚三酮溶液比色法、萘酚比色法和水杨酸法。

1.3.4 总多酚含量 参照代沙等^[12]方法,修改如下:精确移取提取上清液 0.2 mL 于 5 mL 离心管中,加入 1.8 mL 水,0.1 mL 福林酚试剂混匀,2 mL 7.5% Na_2CO_3 溶液混匀后,25℃ 避光反应 1 h,以 50% 乙醇替代样品液做空白,在 735 nm 下测定吸光度。

1.3.5 总黄酮含量 参照 Yuan 等^[13]方法,修改如下:精确移取 1 mL 提取液于 5 mL 离心管中,加入 1.5 mL 50% 乙醇,加入 0.2 mL 5% NaNO_2 ,摇匀,放置 6 min,加 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 试液 0.2 mL,摇匀,放置 6 min,加 10% NaOH 试液 2 mL,摇匀,放置 15 min。以 50% 乙醇替代样品液做空白,在 510 nm 下测定吸光度。

1.4 数据处理及分析

试验设 3 次生物学重复,各指标测定设 3 次重复,结果以 $\bar{x} \pm SD$ 表示。用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据整理及作图,利用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,单因素多重比较采用 Duncan 新复极差法分析,相关性分析采用 Pearson 法。

2 结果与分析

2.1 8个品种(系)红花种子百粒重和脂肪酸组成情况

由表 1 可知,8 个品种(系)种子百粒重存在极显著差异($P < 0.01$),其中 PI198294 百粒重最大,PI470942 最小。红花种子中脂肪酸组成为棕榈酸、亚油酸、油酸和硬脂酸,且 8 个品种(系)间各组分脂肪酸相对含量有一定差异。亚油酸含量以 PI305192 最高,与 PI544040 和 PI401470 间无显著差异($P < 0.05$),显著或极显著高于其他品种(系),川红 1 号和 PI198294 极显著低于 PI305192,但极显著高于 PI401479 和 PI470942。PI401479 和 PI470942 中亚油酸含量最低,其油酸含量最高,极显著高于其他品种(系)。

2.2 不同品种(系)红花芽苗菜生长指标

由表 2 可知,8 个品种(系)红花芽苗菜的下胚轴长度、可食鲜重、可食干重存在极显著差异($P < 0.01$),含水量间有显著差异($P < 0.05$)。其中芽苗菜下胚轴长度为 7.07~8.24 cm,以 PI305192 最大,PI401479 最小,二者间差异极显著;可食鲜重为 3.638~4.897 g,PI305192 的可食鲜重最大,与 PI544040 间差异不显著,显著高于其他品种(系);可食干重以 PI544040 最大,PI401479 最低,二者间差异极显著;芽苗菜含水量以 PI305192 最高,与 PI544021 相比有显著差异,同其他 6 个品种(系)间无显著差异。

2.3 不同品种(系)红花芽苗菜脂肪酸相对含量

表 3 结果表明,不同品种(系)红花芽苗菜各组分脂肪酸含量差异大。棕榈酸含量为 13.56%~32.19%,其中川红 1 号和 PI198294 含量高,极显著高于其他品种(系);亚

油酸含量为 25.31%~61.59%,以 PI305192 最高,极显著高于其他品种(系);油酸含量变化较大,在 14.89%~50.45% 之间,其中 PI470942 最高,极显著高于其他品种(系);硬脂酸含量川红 1 号和 PI198294 极显著高于其他品种(系)。结合表 1、3 可知,红花种子从发芽长成芽苗,其饱和脂肪酸含量上升,不饱和脂肪酸含量降低,与胡筱波等^[14]的研究结果基本吻合。

2.4 不同品种(系)红花芽苗菜可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖和硝酸盐含量

由表 4 可知,8 个红花品种(系)芽苗菜中可溶性蛋白含量以川红 1 号最高,与 PI305192 和 PI198294 相比差异不显著,最低的是 PI401479,较川红 1 号低 55.5%,达极显著差异;游离氨基酸含量以 PI198294 最高,显著高于川红 1 号,极显著高于其他 6 个品种(系);红花芽苗菜可溶性糖含量为

表 1 8 个品种(系)红花种子百粒重和脂肪酸组成情况[†]

Table 1 The 100 grain weight and fatty acid composition of seeds on 8 safflower varieties (lines)

品种(系)	百粒重/g	棕榈酸/%	亚油酸/%	油酸/%	硬脂酸/%
PI305192	3.973±0.013 ^{Cc}	8.19±0.02 ^{Aa}	74.93±0.27 ^{Aa}	13.40±0.28 ^{Cd}	3.47±0.06 ^{BDbc}
PI544040	4.455±0.064 ^{Bb}	7.67±0.09 ^{Ab}	73.74±1.59 ^{ABa}	15.38±1.67 ^{Cd}	3.21±0.04 ^{BDbcd}
PI401470	4.024±0.022 ^{Cc}	7.96±0.28 ^{Aab}	68.70±3.05 ^{ABab}	19.94±1.77 ^{Ced}	3.40±0.36 ^{BDbc}
PI544021	3.776±0.029 ^{Dd}	6.89±0.05 ^{Bc}	64.55±1.38 ^{ABCb}	24.86±1.43 ^{BCc}	3.71±0.09 ^{Bb}
川红 1 号	4.427±0.015 ^{Bb}	7.59±0.17 ^{Ab}	62.32±3.28 ^{BCb}	24.81±2.20 ^{BCc}	5.28±0.17 ^{Aa}
PI198294	4.737±0.066 ^{Aa}	8.05±0.13 ^{Aab}	53.47±3.56 ^{Cc}	33.72±3.38 ^{Bb}	4.76±0.17 ^{Aa}
PI401479	3.206±0.057 ^{Ff}	5.84±0.09 ^{Cd}	24.04±2.51 ^{Dd}	67.44±2.32 ^{Aa}	2.68±0.20 ^{Dd}
PI470942	3.430±0.036 ^{Ee}	6.01±0.23 ^{Cd}	26.01±3.65 ^{Dd}	64.95±3.90 ^{Aa}	3.02±0.08 ^{BDcd}

† 同列不同小写字母表示不同处理间在 P<0.05 水平上差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 P<0.01 水平上差异极显著。

表 2 不同品种(系)红花芽苗菜生长指标[†]

Table 2 Growth index of the sprouts from differentsafflower varieties (lines)

品种(系)	下胚轴长/cm	可食鲜重/g	可食干重/g	含水量/%
PI305192	8.28±0.07 ^{Aa}	4.897±0.128 ^{Aa}	0.282±0.012 ^{Ab}	94.24±0.12 ^{Aa}
PI544040	7.74±0.13 ^{ABb}	4.781±0.024 ^{Aa}	0.287±0.001 ^{Aa}	93.99±0.05 ^{Aab}
PI401470	8.23±0.06 ^{Aa}	4.365±0.029 ^{Bb}	0.265±0.007 ^{ABb}	93.93±0.12 ^{Aab}
PI544021	8.04±0.31 ^{Aab}	4.004±0.082 ^{CDcd}	0.246±0.003 ^{BCc}	93.85±0.09 ^{Ab}
川红 1 号	7.14±0.14 ^{BCc}	3.940±0.084 ^{CDcd}	0.241±0.005 ^{BCc}	93.88±0.10 ^{Aab}
PI198294	7.22±0.01 ^{BCc}	3.769±0.109 ^{Dde}	0.228±0.003 ^{Ccd}	93.95±0.11 ^{Aab}
PI401479	7.07±0.16 ^{Cc}	3.638±0.032 ^{De}	0.221±0.007 ^{Cd}	93.94±0.13 ^{Aab}
PI470942	7.93±0.06 ^{Aab}	4.185±0.106 ^{BCbc}	0.246±0.002 ^{BCc}	94.13±0.11 ^{Aab}

† 同列不同小写字母表示不同处理间在 P<0.05 水平上差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 P<0.01 水平上差异极显著。

表 3 不同品种(系)红花芽苗菜脂肪酸相对含量[†]

Table 3 The relative contents of fatty acids of the sprouts from differentsafflower varieties (lines)

品种(系)	棕榈酸	亚油酸	油酸	硬脂酸
PI305192	13.91±0.38 ^{Ccd}	61.59±0.38 ^{Aa}	16.47±0.29 ^{Cde}	8.03±0.29 ^{Cd}
PI544040	13.56±0.11 ^{Cd}	51.92±0.67 ^{Bb}	26.42±1.09 ^{Bc}	8.10±0.31 ^{Cd}
PI401470	26.20±0.89 ^{Bb}	28.95±1.84 ^{Ccd}	26.26±0.51 ^{Bc}	18.59±2.22 ^{Bb}
PI544021	17.39±2.59 ^{Cc}	53.34±3.92 ^{Bb}	19.14±1.52 ^{Cd}	10.13±0.20 ^{Cd}
川红 1 号	32.06±0.17 ^{Aa}	28.24±1.39 ^{Ccd}	14.89±1.07 ^{Ce}	24.81±0.68 ^{Aa}
PI198294	32.19±0.82 ^{Aa}	25.31±1.76 ^{Cd}	16.90±0.87 ^{Cde}	25.60±0.56 ^{Aa}
PI401479	23.82±1.21 ^{Bb}	31.23±0.62 ^{Cc}	30.05±0.72 ^{Bb}	14.91±1.11 ^{Bc}
PI470942	14.79±0.84 ^{Ccd}	26.40±0.49 ^{Ccd}	50.45±1.19 ^{Aa}	8.36±0.13 ^{Cd}

† 同列不同小写字母表示不同处理间在 P<0.05 水平上差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 P<0.01 水平上差异极显著。

表4 不同品种(系)红花芽苗菜可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖和硝酸盐含量[†]

Table 4 The soluble protein, free amino acid, soluble sugar and nitrate contents of the sprouts from different safflower varieties (lines)

品种(系)	可溶性蛋白/ (mg·g ⁻¹)	游离氨基酸/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	可溶性糖/%	硝酸盐/ (mg·g ⁻¹)
PI305192	8.27±0.15 ^{ABab}	23.86±1.37 ^{Bc}	0.60±0.02 ^{BCb}	0.97±0.20 ^{Aa}
PI544040	6.81±0.46 ^{BCb}	25.78±3.41 ^{Bc}	0.47±0.01 ^{Dc}	0.30±0.01 ^{Cd}
PI401470	6.95±0.40 ^{BCb}	23.55±1.61 ^{Bc}	0.51±0.02 ^{CDc}	0.45±0.01 ^{BCcd}
PI544021	7.21±0.45 ^{ABCb}	24.62±0.47 ^{Bc}	0.64±0.01 ^{Bb}	0.45±0.03 ^{BCcd}
川红1号	9.03±0.83 ^{Aa}	35.97±1.77 ^{Ab}	0.79±0.03 ^{Aa}	0.58±0.00 ^{BCbc}
PI198294	7.79±0.25 ^{ABab}	42.66±3.06 ^{Aa}	0.85±0.04 ^{Aa}	0.73±0.03 ^{ABb}
PI401479	5.32±0.39 ^{Cc}	22.32±1.46 ^{Bc}	0.60±0.02 ^{BCb}	0.50±0.05 ^{BCcd}
PI470942	6.85±0.35 ^{BCb}	22.24±2.69 ^{Bc}	0.46±0.00 ^{Dc}	0.53±0.00 ^{BCcd}

[†] 同列不同小写字母表示不同处理间在 P<0.05 水平上差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 P<0.01 水平上差异极显著。

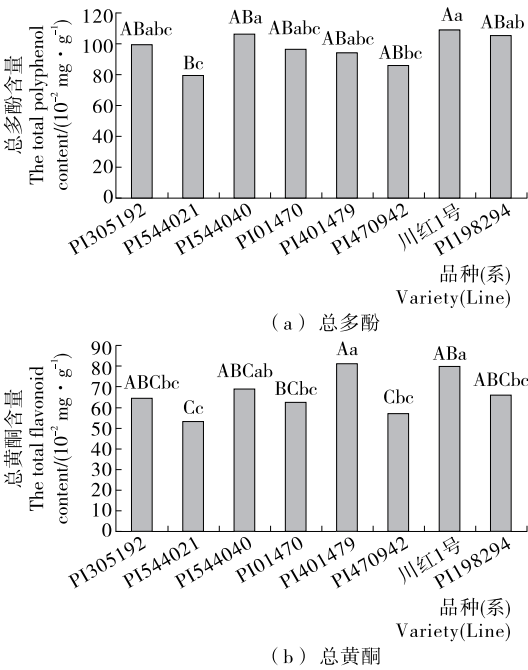
0.47%~0.89%,其中 PI198294 最高,与川红1号无显著差异,极显著高于其他品种(系),较 PI470942 和 PI544040 分别高出 84.8%和 80.9%。杨玉霞等^[15]研究得出不同品种(系)的红花种子中蛋白质和氨基酸含量不一致,本试验结果也表明,红花不同亚油酸含量类型品种(系)生产的芽苗菜营养成分含量差异较大。红花芽苗菜中硝酸盐含量以 PI305192 最高,为 0.97 mg/g(970 mg/kg),显著或极显著高于其他品种(系),超过了沈明珠等^[16]建议的二级卫生标准(≤785 mg/kg)。

2.5 不同品种(系)红花芽苗菜总多酚和总黄酮含量

由图 1 可知,8 个品种(系)红花芽苗菜的总多酚和总黄酮含量有差异。从图 1(a)可得出,总多酚含量最高的是川红1号,为 108.59 mg/100 g,依次是 PI544040、PI198294、PI305192、PI401470 和 PI401479,PI470942 和 PI544021 含量最低,分别为 85.75、79.71 mg/100 g,且显著低于川红1号和 PI544040;从图 1(b)由可知,PI401479 和川红1号的总黄酮含量最高,极显著高于 PI544021 和 PI470942,显著高于 PI198294、PI305192 和 PI401470。相关研究^[17]结果表明红花种子总多酚含量高,且不同品种间有差异,为 452.52~667.27 mg/100 g。本研究结果发现红花芽苗菜中也含有丰富的总多酚,在不同品种(系)中也存在差异。

2.6 种子脂肪酸组分相对含量和芽苗菜营养成分相关性分析

由表 5 可知,红花种子百粒重与种子棕榈酸、亚油酸和硬脂酸相对含量及芽苗菜可溶性蛋白、游离氨基酸和总多酚含量呈极显著正相关,同芽苗菜硬脂酸相对含量和可溶性糖含量显著正相关,与芽苗菜下胚轴长、可食鲜重、可食干重、含水量、棕榈酸相对含量、亚油酸相对含量、硝酸盐含量和总黄酮含量间无显著相关性,与种子和芽苗菜的油酸相对含量存在极显著负相关关系。一般来说种子相对大的幼苗生长快,种子大小与苗高及鲜质量呈显著正相关^[18]。另相关研究认为大豆籽粒的百粒重越大,豆芽的产率越低^[19],以及绿豆百粒重与绿豆芽生物产量呈显著负相关^[20]。本试验得出,红花种子百粒重与芽苗菜下胚轴长度、可食鲜重和可食



不同小写字母表示不同处理间在 P<0.05 水平上差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 P<0.01 水平上差异极显著

图1 不同品种(系)红花芽苗菜总多酚和总黄酮含量
Figure 1 The contents of total polyphenol and total flavonoid of the sprouts from different safflower varieties (lines)

干重无显著相关性,这与前人研究结果不一致,可能与红花种子其他的性质有关。

种子棕榈酸相对含量与种子亚油酸和硬脂酸相对含量及芽苗菜可溶性蛋白含量呈极显著正相关,与芽苗菜可食鲜重、可食干重和总多酚含量呈显著正相关,与种子和芽苗菜的油酸相对含量呈极显著负相关;种子亚油酸相对含量与芽苗菜可食鲜重、可食干重、亚油酸相对含量和可溶性蛋白含量呈极显著正相关,与芽苗菜下胚轴长存在显著正相关关系,与种子和芽苗菜的油酸相对含量呈极显著负相关;种子

表 5 种子脂肪酸组分相对含量与芽苗菜营养成分相关性分析[†]

Table 5 Correlation analysis of fatty acid relative content of the seed and nutrition of the sprouts

营养成分	百粒重	种子棕榈酸相对含量	种子亚油酸相对含量	种子油酸相对含量	种子硬脂酸相对含量
种子棕榈酸相对含量	0.792 **				
种子亚油酸相对含量	0.636 **	0.849 **			
种子油酸相对含量	-0.672 **	-0.862 **	-0.996 **		
种子硬脂酸相对含量	0.713 **	0.525 **	0.318	-0.355	
芽苗菜下胚轴长	-0.135	0.223	0.405 *	-0.388	-0.358
芽苗菜可食鲜重	0.174	0.482 *	0.618 **	-0.599 **	-0.254
芽苗菜可食干重	0.243	0.509 *	0.674 **	-0.654 **	-0.206
芽苗菜含水量	-0.154	0.050	0.009	-0.005	-0.231
芽苗菜棕榈酸相对含量	0.403	0.203	-0.804	0.037	0.669 **
芽苗菜亚油酸相对含量	0.010	0.260	0.568 **	-0.546 **	-0.263
芽苗菜油酸相对含量	-0.609 **	-0.676 **	-0.663 **	0.690 **	-0.602 **
芽苗菜硬脂酸相对含量	0.498 *	0.322	0.003	-0.037	0.740 **
芽苗菜可溶性蛋白含量	0.557 **	0.570 **	0.522 **	-0.551 **	0.620 **
芽苗菜游离氨基酸含量	0.709 **	0.387	0.101	-0.154	0.755 **
芽苗菜可溶性糖含量	0.510 *	0.296	0.080	-0.131	0.774 **
芽苗菜硝酸盐含量	0.102	0.309	0.101	-0.120	0.246
芽苗菜总多酚含量	0.559 **	0.424 *	0.298	-0.325	0.270
芽苗菜总黄酮含量	0.092	-0.408	-0.147	0.135	0.134

[†] * 表示显著相关(P<0.05), ** 表示极显著相关(P<0.01)。

油酸相对含量与芽苗菜中油酸相对含量极显著正相关,与芽苗菜可食鲜重、可食干重、亚油酸相对含量和可溶性蛋白含量呈极显著负相关;种子硬脂酸相对含量与芽苗菜棕榈酸和硬脂酸相对含量及芽苗菜可溶性蛋白、游离氨基酸和可溶性糖含量存在极显著正相关关系,与芽苗菜油酸相对含量呈极显著负相关关系。

3 结论

在供试的 8 个红花品种(系)中,PI305192 种子亚油酸含量最高,其芽苗菜的可食鲜质量大,可溶性蛋白和亚油酸含量高,但其硝酸盐含量最高,超出了沈明珠等^[16]建议的二级卫生标准,且其他品质指标的含量低,品质欠佳。川红 1 号和 PI198294 的芽苗菜中可溶性蛋白、游离氨基酸和可溶性糖含量高,显著或极显著高于其他品种(系),川红 1 号芽苗菜中总多酚和总黄酮含量高,PI198294 的总多酚含量高,总黄酮含量也不低,由此认为川红 1 号和 PI198294 是比较适合用于红花芽苗菜生产的优质品种(系)。

对种子脂肪酸组分和芽苗菜的产量、品质间相关性分析发现,种子亚油酸相对含量与芽苗菜可食鲜、干质量和可溶性蛋白含量极显著正相关,种子油酸相对含量与芽苗菜可食鲜、干质量和可溶性蛋白含量极显著负相关。据此可知亚油酸相对含量高的红花品种(系)生产的芽苗菜产量及品质较油酸相对含量高的更好。

本试验针对红花芽苗菜展开的研究,芽苗菜培养是在黑暗条件进行的,但在光照条件下是否会有一致结果,还需要进行探讨。

参考文献

[1] 郭美丽, 张汉明, 张美玉. 红花本草考证[J]. 中药材, 1996(4): 202-203.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 2015 年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 151.

[3] 杨丽华, 张敏, 马春, 等. 红花的现代研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2007(14): 1 429-1 430.

[4] 谷卫彬, 黎大爵. 世界红花种质的籽油脂脂肪酸组分评价[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(1): 17-19.

[5] 胡喜巧, 杨文平, 陈红芝, 等. 温度对红花芽菜生长及黄酮和腺苷含量的影响[J]. 北方园艺, 2013(21): 168-170.

[6] 毋柳柳, 杨靖, 秦仁炳, 等. 播种密度对红花芽菜生长及黄酮含量的影响[J]. 北方园艺, 2016(2): 146-148.

[7] 胡喜巧, 杨文平, 许世康, 等. 二氧化氯对红花种子萌发及芽菜中维生素 E 的影响[J]. 北方园艺, 2014(14): 151-155.

[8] KIM Tae-su, CHANG Moon-sik, JU Young-soon, et al. Nutritional evaluation of leafy safflower sprouts cultivated under different-colored lights[J]. Korean Journal of Food Science & Technology, 2012, 44(2): 224-227.

[9] 刘仁建, 吴卫, 郑有良, 等. 48 份红花材料种子含油率及其籽油脂脂肪酸分析[J]. 西南农业学报, 2006, 19(5): 920-927.

[10] 胡博, 吴卫, 侯凯, 等. 赤霉素和多效唑对红花生长和脂肪酸组成的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015(4): 498-503.

[11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 123-197.

[12] 代沙, 吴卫, 李钰. HPLC 法测定不同品系紫苏酚类物质的含量[J]. 核农学报, 2014, 28(1): 108-115.

(下转第 86 页)

表 2 3 种化合物的线性范围、相关系数、定量限、平均回收率及精密度

Table 2 Linear range, correlation coefficients (*r*), limits of quantitation (LOQ), recoveries and precisions (relative standard deviations, RSDs) of 3 degradation products (*n*=6)

化合物名称	线性范围/ (ng · mL ⁻¹)	相关系数 <i>r</i>	定量限/ (mg · kg ⁻¹)	添加水平/ (mg · kg ⁻¹)	平均回收 率/%	精密度/ %
丁醚脞	1.0~500.0	0.995	0.010	0.01	62.2	9.4
				0.05	70.5	3.6
				1.00	85.4	6.0
丁醚脞—甲酰胺	0.5~100.0	0.990	0.005	0.005	71.9	8.1
				0.010	86.8	5.3
				0.050	90.1	6.2
丁醚脞—脞	0.5~100.0	0.993	0.003	0.005	85.4	7.6
				0.010	90.0	5.1
				0.050	99.6	1.3

3 结论

利用高效液相色谱—串联质谱法结合 QuEChERS 前处理技术,建立了茶叶中丁醚脞原药及其 2 种降解产物残留量的检测方法。该方法定性分析的同时并能对 3 种化合物进行准确定量,得到丁醚脞及其降解产物的总量,准确反映了茶叶中丁醚脞的实际残留量,满足残留监测的要求。并考察了丁醚脞在溶液中的降解情况,优化前处理方法,有效避免了丁醚脞在前处理过程的降解,回收率稳定且重现性较好。然而丁醚脞在茶叶中的降解机理有待进一步研究。

参考文献

[1] WANG Lei, ZHAO Peng-yue, ZHANG Feng-zu, et al. Diafenthiuron residue and decline in pakchoi and soil under field application[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012 (79): 75-79.

[2] 刘刚. 新型果蔬杀虫杀螨剂——丁醚脞[J]. 西北园艺: 果树, 2006(4): 53-53.

[3] RUDER Franz J, KAYSER Hartmut. The carbodiimide product of diafenthiuron reacts covalently with two mitochondrial proteins the FO-proteolipid and porin, and inhibits mitochondrial ATPase in vitro[J]. Pestic. Biochem. Physiol., 1992, 42(3): 248-261.

[4] KAYSER H, EILINGER P. Metabolism of diafenthiuron by mitochondrial oxidation, proicide activation and inactivation as mechanisms contributing to selective[J]. Pest Manag Sci, 2001, 57

(10): 975-980.

[5] STANLEY Johnson, CHANDRASEKARAN Subramanian, GNANADHAS Preetha, et al. Toxicity of diafenthiuron to honey bees in laboratory, semi-field and field conditions[J]. Pest Manag Sci., 2010 (66): 505-510.

[6] PETROSKE E, CASIDA J E. Diafenthiuron action: carbodiimide formation and ATPase inhibition[J]. Pestic. Biochem. Physiol., 1995, 53(1): 60-74.

[7] 卢委委, 孙福胜, 董杰, 等. 超声辅助离子液体分散液液微萃取-反相液相色谱法测定水中丁醚脞残留[J]. 分析测试学报, 2010, 29(11): 1 198-1 202.

[8] 朱烈, 李旦阳, 许敏球, 等. 丁醚脞在甘蓝和花菜中的残留动态研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(14): 104-106.

[9] 葛含光, 王永芳, 葛宝坤, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法测定苹果中丁醚脞及其代谢物残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(2): 436-441.

[10] 刘艳萍, 王思威, 孙海滨, 等. 丁醚脞在柑橘及其土壤中的残留及消解动态[J]. 农药学报, 2013, 15(6): 673-678.

[11] 吕慧芝. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定茶叶中丁醚脞的残留量[J]. 广东化工, 2016, 43(16): 177-178.

[12] 董晓倩, 刘松南, 刘蕊, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法测定茶叶中的丁醚脞[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 244-250.

[13] 张新忠, 罗逢健, 刘光明, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定茶叶和土壤中丁醚脞及其代谢物的残留[J]. 分析化学, 2011, 39(9): 1 329-1 335.

(上接第 69 页)

[13] YUAN Ming, JIA Xue-jing, DING Chun-bang, et al. Effect of fluorescence light on phenolic compounds and antioxidant activities of soybeans (Glycine max L. Merrill) during germination[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(5): 1 859-1 865.

[14] 胡筱波, 朱新荣, 吴谋成. 豆类在发芽过程中脂肪酸含量的变化[J]. 粮油加工, 2007(7): 123-125.

[15] 杨玉霞, 吴卫, 郑有良, 等. 不同品种(系)红花籽粕营养成分分析[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(4): 174-178.

[16] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐累积的研究 I: 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982(4):

41-48.

[17] AL-SURMI N Y, EL-DENGAWY R, KHALIFA A H. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties[J]. Journal of Food Processing and Technology, 2016, DOI: 10. 4172/2157-7110.1000585.

[18] 武高林, 杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 191-197.

[19] 王慧, 马春梅, 龚振平. 大豆品种与豆芽营养成分及产量的关系研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 374-378.

[20] 康玉凡, 刘腾飞, 程须珍, 等. 芽用绿豆品种种子粒性状及其豆芽生理特性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 986-991.