

高良姜醇提物的抗氧化、酶抑制活性及其与活性成分的相关性

Studies on the antioxidant and enzyme inhibitory activities of Galangal methanol extract and the correlation with the bioactive components

李 姣 张晓峰 王霄凯 王婉愉

LI Jiao ZHANG Xiao-feng WANG Xiao-kai WANG Wan-yu

(郑州大学公共卫生学院, 河南 郑州 450001)

(College of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:以新鲜高良姜为原料,制备甲醇提取物,分别采用Folin-Ciocalteu法和 AlCl_3 比色法测定多酚和总黄酮含量,并利用DPPH法、ABTS法和FRAP法评价抗氧化功能,同时检测对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制功能。结果显示,高良姜醇提物中多酚和总黄酮分别为62.91 mg GAE/g DW和13.12 mg QE/g DW。当醇提物浓度达到50 mg/mL时,对DPPH自由基的清除率达到95.78%,半抑制浓度 IC_{50} 为6.37 mg/mL;对ABTS自由基的清除率达到99.03%, IC_{50} 为2.24 mg/mL。FRAP值为428.92 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g DW。醇提物对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性的 IC_{50} 值分别为205.87、1.32 mg/mL。表明高良姜醇提物含有丰富的多酚和黄酮,具有较强的体外抗氧化活性、胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制功能,在降脂降糖药品与功能性食品的开发与应用方面具有很好的前景。

关键词:高良姜;醇提物;多酚;总黄酮;抗氧化;酶抑制活性;胰脂肪酶; α -葡萄糖苷酶

Abstract: The Galangal was degreased and extracted by methanol to evaluate its polyphenols content and total flavonoids content, and the relationship of them with the antioxidant capacity and inhibitory activities against pancreatic lipase and α -glucosidase were studied. The polyphenols and total flavonoids were determined respectively by Folin-Ciocalteu assay and AlCl_3 colorimetric method. The antioxidant potential was estimated by DPPH method, ABTS method and FRAP method. Additionally, inhibitory effects against pancreatic lipase and α -glucosidase *in vitro* were

also assessed. The results showed that the polyphenols and total flavonoids were 62.91 mg GAE/g DW and 13.12 mg QE/g DW, respectively. When concentration of Galangal methanol extract was near 50 mg/mL, the scavenging rate of DPPH reached 95.78% ($\text{IC}_{50} = 6.37$ mg/mL) and ABTS reached 99.03% ($\text{IC}_{50} = 2.24$ mg/mL). The FRAP value of the methanol extract was 428.92 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g DW. The results also showed that inhibitory activities against pancreatic lipase and α -glucosidase, expressed by IC_{50} , were 205.87 mg/mL and 1.32 mg/mL, respectively. In summary, the Galangal contained abundant in polyphenols and flavonoids, and had strong antioxidant and inhibitory activities against pancreatic lipase and α -glucosidase, and this inclined its prospective exploremet of the hypolipidemic and hypoglycemic products.

Keywords: Galangal; methanol extract; polyphenols; total flavonoids; antioxidant activity; enzyme inhibitory activity; pancreatic lipase; α -glucosidase

高良姜是姜科山姜属植物高良姜 (*Alpinia officinarum* Hance) 的干燥根茎,也称为高凉姜、佛手根、小良姜、良姜,主要生长于广东、广西、福建、云南等地^[1],为药食同源植物。国内外研究^[2-3]表明,高良姜具有抗菌镇痛、抗炎、抗肿瘤、抗增殖、抗氧化、抗腹泻等多种生理功能,也可作为抗氧化剂应用于食品的贮藏^[4],已被应用于食品调味料、香料和保健品等方面^[5-6]。

氧化应激是指机体新陈代谢过程中活性氧和活性氮的产生与清除失衡,导致活性氧和活性氮产生过多,造成机体组织细胞和生物大分子损伤,是许多疾病发生的重要因素^[7],因此提高机体抗氧化能力有助于维持机体的健康水平。多酚和黄酮类化合物是高良姜中的主要生物活性成分之一^[8]。研究^[9-10]表明植物多酚能降低机体活

基金项目:河南省科技攻关计划项目(编号:152102310260)

作者简介:李姣,女,郑州大学在读硕士研究生。

通信作者:张晓峰(1973—),女,郑州大学副教授,博士。

E-mail: ophia@163.com

收稿日期:2018-11-30

性氧水平,并可通过抗炎、抗诱变和抗血栓等功能促进机体健康。黄酮是多酚类化合物家族中非常重要的成员,同样具有抗氧化及抗肿瘤等方面的功能。胰脂肪酶与 α -葡萄糖苷酶均为消化吸收过程中的关键酶,在机体的许多代谢过程中发挥着重要作用,与肥胖、糖尿病、动脉硬化等由机体代谢失调引发的疾病有密切关系^[11]。若对二者酶活性进行抑制可减少机体对膳食碳水化合物和脂类的消化吸收,从而达到防治代谢相关疾病的目的。

目前高良姜的相关研究主要集中在组分提取、分离鉴定以及抑菌^[12]、抗炎^[13]和抗肿瘤方面^[14],而对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶活性抑制作用的研究较少。王辉等^[15]仅对高良姜不同部位乙醇提取物的 α -葡萄糖苷酶活性抑制作用进行研究。本研究拟以高良姜为原料,通过对其甲醇提取物中多酚和总黄酮含量、抗氧化活性以及对胰脂肪酶与 α -葡萄糖苷酶的抑制活性的测定,探讨高良姜体外抗氧化活性及其在调节糖脂代谢方面的能力,以期高良姜的进一步开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜高良姜:市售,经郑州大学药学院中药教研室教授鉴定为姜科植物高良姜。

1.2 试剂及仪器

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate), ABTS]、2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪[2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ]、 α -葡萄糖苷酶[酶活力 ≥ 10 U/mg]、胰脂肪酶(酶活力 30~90 U/mg):分析纯,美国 Sigma 公司;

槲皮素、没食子酸(gallic acid, GA)、4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(4-Nitrophenyl- α -D-glucopyranoside, PNPG)、Tris-HCl:分析纯,上海阿拉丁试剂公司;

其他试剂:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-18B型,北京四环科学仪器厂有限公司;

电热鼓风干燥箱:10-2BS型,天津市华北实验仪器有限公司;

旋转蒸发器:RE-2000型,上海亚荣生化仪器厂;

台式离心机:5424R型,艾本德中国有限公司;

多功能微孔板读数仪:Spectra Max M2e型,美谷分子仪器有限公司;

电子分析天平:AL204型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品甲醇提取物的制备 将新鲜高良姜放于冷冻

干燥机中冻干,粉碎过筛(60目),使用 CCl_4 在通风橱中脱脂[1:10(g/mL)] 24 h,抽滤晾干。称取15 g脱脂干粉,加150 mL甲醇,浸提24 h后抽滤;重复浸泡2次,滤液合并浓缩冷冻干燥。称取冻干粉0.5 g,加1 mL甲醇配成500 mg/mL样品提取液,4℃储存。

1.3.2 多酚和总黄酮含量的测定 多酚含量的测定参照Ainsworth等^[16]的方法,结果以每克干粉所含的没食子酸当量(mg GAE/g DW)表示。总黄酮含量的测定根据Arvouet-Grand等^[17]的方法,并修改如下:取100 μL 待测提取液并梯度稀释,加入等量的2% AlCl_3 甲醇溶液,25℃静置10 min,于415 nm波长处测量吸光度,最终以每克干粉所含的槲皮素当量(mg QE/g DW)表示。

1.3.3 抗氧化活性的测定

(1) DPPH自由基清除能力的测定:参照Cheng等^[18]的方法,DPPH自由基离子的清除率按式(1)计算。

$$c = (1 - \frac{m_1 - m_2}{m_0}) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c —— DPPH自由基离子清除率, %;

m_1 —— 100 μL DPPH溶液+100 μL 样品液的吸光度值;

m_2 —— 100 μL 甲醇溶液+100 μL 样品液的吸光度值;

m_0 —— 100 μL DPPH溶液+100 μL 甲醇溶液的吸光度值。

(2) ABTS自由基清除能力的测定:参照Ali等^[19]的方法,并对ABTS自由基离子清除率计算公式稍作修正,见式(2)。

$$c = (1 - \frac{m_1 - m_2}{m_0}) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c —— ABTS自由基离子清除率, %;

m_1 —— 180 μL ABTS^+ ·工作液+20 μL 样品液的吸光度值;

m_2 —— 180 μL 乙醇溶液+20 μL 样品液的吸光度值;

m_0 —— 20 μL 乙醇溶液+180 μL ABTS^+ ·工作液的吸光度值。

(3)铁离子还原能力的测定:参照Sreerama等^[20]的方法,结果用每克样品干重中相当于 Fe^{2+} 的微摩尔数($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g DW}$)值表示。

1.3.4 代谢关键酶抑制活性的测定

(1)胰脂肪酶抑制活性的测定:参照Mcdougall等^[21]的方法,并修改如下:于1.5 mL离心管中加入50 μL 样品提取液并梯度稀释,再加150 μL 酶工作液与350 μL 0.1 mol/L Tris-HCl缓冲液(pH=8.2),37℃预热10 min

后加入 450 μL 底物工作液, 37 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 2 h。反应终止后, 16 000 r/min 离心 3 min, 移取 300 μL 上清液至 96 孔板, 测定 405 nm 波长处的吸光度。胰脂肪酶活性的抑制率按式(3)计算。

$$c = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_4}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

c ——胰脂肪酶活性抑制率, %;

m_1 ——50 μL 样品液 + 150 μL 酶工作液 + 350 μL Tris-HCl 缓冲液 + 450 μL 底物工作液的吸光度值;

m_2 ——以 150 μL Tris-HCl 缓冲液替代酶工作液的吸光度值;

m_3 ——以 50 μL 甲醇替代样品液的吸光度值;

m_4 ——以 50 μL 甲醇替代样品液, 150 μL Tris-HCl 缓冲液替代酶工作液的吸光度值。

(2) α -葡萄糖苷酶抑制活性的测定: 参照 Kang 等^[22]的方法, α -葡萄糖苷酶活性的抑制率按式(4)计算。

$$c = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_4}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

c —— α -葡萄糖苷酶活性抑制率, %;

m_1 ——8 μL 样品液 + 20 μL 酶工作液 + 112 μL PBS 缓冲液 + 20 μL 底物工作液的吸光度值;

m_2 ——以 20 μL PBS 缓冲液替代酶工作液的吸光度值;

m_3 ——以 8 μL 甲醇替代样品液的吸光度值;

m_4 ——以 8 μL 甲醇替代样品液, 以 20 μL PBS 缓冲液替代酶工作液的吸光度值。

1.4 数据分析与统计

采用 Microsoft Excel 2016 对数据进行整理, 使用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析。所有试验均重复 3 次, 结果以平均值和标准差表示。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 高良姜醇提物中多酚与总黄酮的含量测定结果

2.1.1 高良姜醇提物中多酚的含量 由图 1 可知, 当质量浓度在 0~250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 没食子酸与吸光度值的线性关系较好。测得高良姜醇提物中多酚含量为 62.91 mg GAE/g DW。

2.1.2 高良姜醇提物中总黄酮的含量 如图 2 所示, 当质量浓度在 0~200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 槲皮素与吸光度值的线性关系较好。测得高良姜醇提物中总黄酮含量为 13.12 mg QE/g DW。

2.2 高良姜醇提物的抗氧化活性

2.2.1 DPPH 自由基清除能力 高良姜醇提物对 DPPH 自由基清除能力如图 3 所示。由图 3 可知, 高良姜醇提

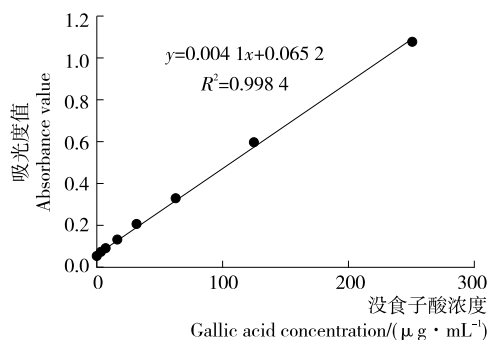


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of GA

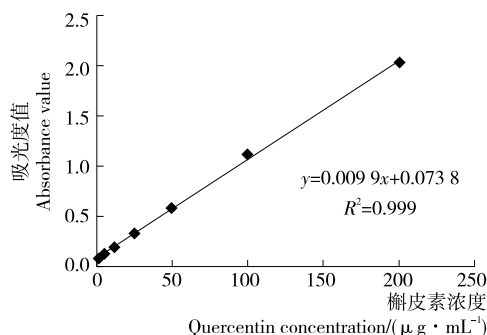
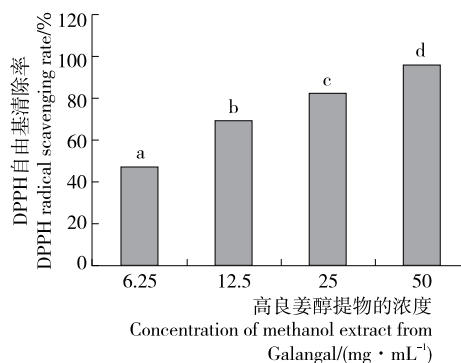


图 2 槲皮素标准曲线

Figure 2 Standard curve of quercetin



不同字母表示差异显著(P<0.05)

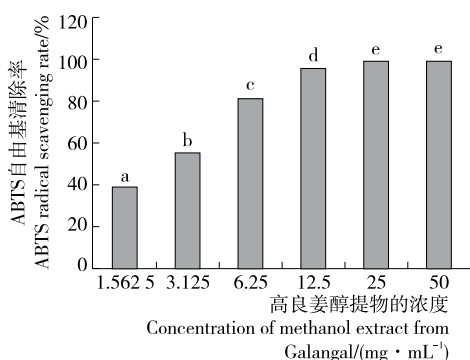
图 3 高良姜醇提物的 DPPH 自由基清除能力

Figure 3 DPPH free radical scavenging capacity of methanol extract of Galangal

物浓度在 6.25~50.00 mg/mL 时, 其对 DPPH 自由基的清除能力随着浓度的增大而增大($Y = 23.053 \ln X + 7.3078$, $R^2 = 0.98$, $P < 0.01$), 且各浓度的清除率之间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。当高良姜醇提物浓度达到 50 mg/mL 时, 其对 DPPH 自由基的清除率达到最大值 95.78%。醇提物的对 DPPH 自由基的半抑制浓度 IC_{50} 值为 6.37 mg/mL。若 IC_{50} 值 ≤ 10 mg/mL, 可以认为该物质的抗氧化功能较好^[23], 因此高良姜醇提物对 DPPH 自由基离子的清除能力较强。石雪萍等^[24]的研究同样发现高良姜总黄酮具有 DPPH 自由基清除活性, 且抗氧化

能力呈质量浓度依赖性。

2.2.2 ABTS 自由基清除能力 高良姜醇提物对 ABTS 自由基清除能力如图 4 所示。由图 4 可知,高良姜醇提物浓度在 1.56~50.00 mg/mL 时,其对 $\text{ABTS}^+\cdot$ 的清除能力随着浓度的增大而增大($Y=18.394\ln X+37.751$, $R^2=0.89$, $P<0.01$),在高良姜醇提物浓度达到 25 mg/mL 时,对 $\text{ABTS}^+\cdot$ 的清除能力达到 98.47%,之后随浓度的增长其清除能力趋于平稳。醇提物的对 ABTS 自由基的半抑制浓度 IC_{50} 值为 2.24 mg/mL,说明醇提物对 ABTS 自由基的清除能力较强。Köse 等^[25]分别使用水和乙醇对高良姜进行提取,结果显示 2 种提取物均表现出了 ABTS 自由基离子的清除能力,但乙醇提取物的自由基清除能力较强。



不同字母表示差异显著($P<0.05$)

图 4 高良姜醇提物的 ABTS 自由基清除能力

Figure 4 ABTS free radical scavenging capacity of methanol extract of Galangal

2.2.3 铁离子还原能力 以 FeSO_4 浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,绘制 FeSO_4 标准曲线。如图 5 所示,浓度在 0~1 000 $\mu\text{mol/L}$ 时 FeSO_4 浓度与其在 593 nm 处的吸光度呈良好的线性关系。高良姜醇提物的 FRAP 值为 428.92 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g DW}$ 。

2.3 高良姜醇提物对代谢关键酶的抑制活性

2.3.1 胰脂肪酶抑制活性 高良姜醇提物对胰脂肪酶的

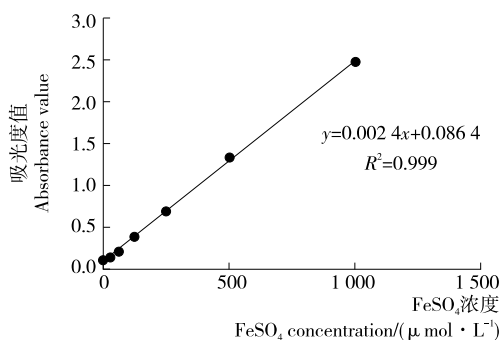


图 5 FeSO_4 标准曲线

Figure 5 Standard curve of FeSO_4

抑制活性如图 6 所示。从图 6 可知,高良姜醇提物对胰脂肪酶具有较好的抑制活性,当浓度为 62.5 mg/mL 时,对胰脂肪酶的抑制率较低 (12.42%),但随着浓度的增大,其抑制活性逐渐增强, IC_{50} 值为 205.87 mg/mL。曲线回归分析表明在此浓度范围内,对胰脂肪酶抑制活性呈现质量浓度依赖性($P<0.05$)。

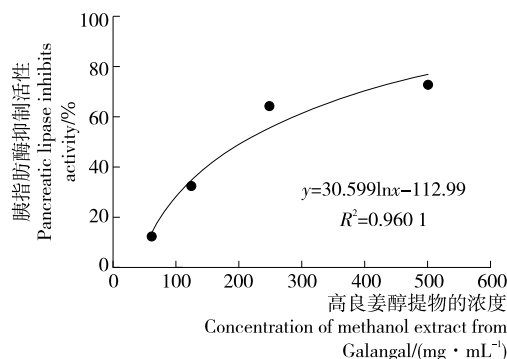


图 6 高良姜醇提物对胰脂肪酶抑制活性

Figure 6 Pancreatic lipase activity Inhibition of methanol extract of Galangal

2.3.2 α -葡萄糖苷酶抑制活性 高良姜醇提物对 α -葡萄糖苷酶抑制活性如图 7 所示。由图 7 可知,高良姜醇提物浓度在 62.50~500.00 mg/mL 时,对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率随着质量浓度的增大而增大, IC_{50} 值为 1.32 mg/mL,说明在此浓度范围内高良姜醇提物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制作用与提取物浓度有明显的相关性,并且各浓度下的 α -葡萄糖苷酶抑制率之间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

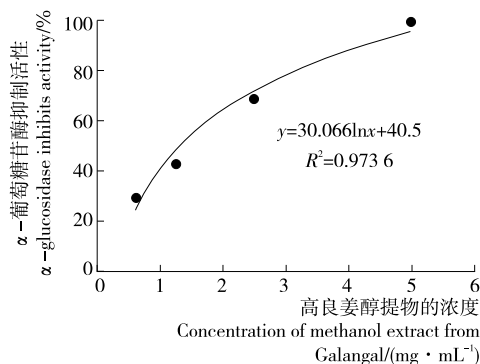


图 7 高良姜醇提物对 α -葡萄糖苷酶抑制活性

Figure 7 α -glucosidase activity inhibition of methanol extract of Galangal

已有研究表明姜科植物在降糖方面具有较好功效,如生姜^[26]、姜黄^[27]、草果^[28]等在胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶活性抑制方面都有较强的功能,表现出了较好的降血脂、抗糖尿病效果。本研究也发现姜科植物高良姜表现出较好的胰脂肪酶、 α -葡萄糖苷酶抑制活性,且均呈现一定的浓度依赖性。

2.4 高良姜醇提物生物活性与其多酚和总黄酮含量的相关性分析

为进一步探讨高良姜醇提物的抗氧化能力和酶抑制功能来源,本试验对高良姜醇提物抗氧化能力、胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性与其多酚、总黄酮含量的相关性分析结果见表 1。

表 1 高良姜醇提物生物活性与其多酚、总黄酮含量的相关性分析[†]

Table 1 Correlation analysis between bioactivities and polyphenols and flavonoids of methanol extract of Galangal

自由基及酶	相关系数 r	
	多酚	总黄酮
DPPH ⁺ · 清除能力	0.992 *	0.968 *
ABTS ⁺ · 清除能力	0.996 *	0.927 *
铁离子还原能力(FRAP)	0.941 *	0.887 *
α -葡萄糖苷酶	0.976 *	0.858 *
胰脂肪酶	0.990 *	0.942 *

[†] * 表示有统计学意义(P<0.05)。

由表 1 可知,高良姜醇提物多酚和总黄酮含量均与其 3 种抗氧化指标、胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性呈正相关(P<0.05),说明高良姜醇提物的体外生物学活性与其多酚、总黄酮含量有密切联系。多酚和黄酮可能是高良姜醇提物中具有抗氧化活性、胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性成分的重要组成部分。

3 结论

作为药食两用的植物资源,高良姜醇提物中多酚和总黄酮含量丰富,在测定的质量浓度范围内,高良姜醇提物清除 DPPH 和 ABTS 自由基能力以及铁离子还原能力较好,对胰脂肪酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性随质量浓度的增高而增大。说明高良姜醇提物具有较好的抗氧化活性和代谢关键酶抑制活性,在天然抗氧化剂、降血糖降血脂药物以及功能性食品的开发与应用方面具有很好的前景。但本试验尚未对醇提物做进一步的分离鉴定,其发挥功能的主要成分有待进一步研究。

参考文献

[1] 杨全,严寒静,庞玉新,等. 南药高良姜药用植物资源调查研究[J]. 广东药学院学报, 2012, 28(4): 382-386.

[2] BASRI A M, TAHA H, AHMADN. A review on the pharmacological activities and phytochemicals of *Alpinia officinarum* (Galangal) extracts derived from bioassay-guided fractionation and isolation [J]. Pharmacognosy Reviews, 2017, 11(21): 43-56.

[3] 汪光华,唐树平,彭名军. 高良姜中 4 种黄酮化合物的体外抗氧化能力及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 168-172.

[4] 黄赛金,尹爱武,罗紫英,等. 高良姜挥发油抑菌及抗氧化作用研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 112-115.

[5] 杜丽霞,姜子涛,李荣. 天然调味料高良姜挥发油的研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 22-25.

[6] 高振虎,陈艳芬,杨全,等. 南药高良姜的研究进展[J]. 广东药学院学报, 2016, 32(6): 817-821.

[7] HE Feng, LI Juan, LIU Ze-wen, et al. Redox mechanism of reactive oxygen species in exercise [J]. Frontier in Physiology, 2016, 7: 486.

[8] LIN Li-yun, PENG Chiung-chi, YEH Xian-yü, et al. Anti-hyperlipidemic bioactivity of *Alpinia officinarum* (Hance) Farw Zingiberaceae can be attributed to the coexistence of curcumin, polyphenolics, dietary fibers and phytosterols[J]. Food Function, 2015, 6(5): 1 600-1 610.

[9] GORZYNIK-DEBICKA M, PRZYCHODZEN P, CAPPELLO F, et al. Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(3): 547-560.

[10] TRESSERA-RIMBAU A, ARRANZ S, EDER M, et al. Dietary Polyphenols in the Prevention of Stroke[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 2 017: 7467962.

[11] HSIEH Jung-feng, LIN Wei-jen, HUANG Kai-fa, et al. Antioxidant activity and inhibition of α -Glucosidase by hydroxyl-functionalized 2-arylbenzo[b]furans [J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2015, 93: 443-451.

[12] HUANG Hui, WU Dan, TIAN Wei-xi, et al. Antimicrobial effect by extracts of rhizome of *Alpinia officinarum* Hance may relate to its inhibition of β -ketoacyl-ACP reductase[J]. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 2008, 23(3): 362-368.

[13] VARSHA S H, AMIT D K, PARAG P K, et al. Isolates of *Alpinia officinarum* Hance as COX-2 inhibitors: Evidence from anti-inflammatory, antioxidant and molecular docking studies[J]. International Immunopharmacology, 2016, 33: 8-17.

[14] REN Ke-wei, ZHANG Wen-zhe, WU Gang, et al. Synergistic anti-cancer effects of galangin and berberine through apoptosis induction and proliferation inhibition in oesophageal carcinoma cells[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2016, 84: 1 748-1 759.

[15] 王辉,翟红莉,梅文莉,等. 高良姜提取物的降血糖活性[J]. 热带生物学报, 2014, 5(2): 179-181.

[16] AINSWORTH E A, GILLESPIE K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent [J]. Nature Protocols, 2007, 2(4): 875-877.

[17] ARVOUET G A, VENNAT B, POURRAT A, et al. Standardization of propolis extract and identification of principal constituents[J]. Journal de Pharmacie de Belgique, 1994, 49(6): 462-468.

(下转第 184 页)

YC/T 426—2012《烟草混合均匀度》的对比情况,从对比情况来看,本试验提到的配方烟丝均匀度评价方法,从原理上、指标上、方法上与 YC/T 426—2012 均不相同,在实际生产中当样本量较小时,可作为一种补充方法对配方烟丝均匀度进行判定。

3 结论

本试验通过筛选在烟丝、再造烟叶和梗丝中具有含量差异、分布方向相反、检测灵敏度较高的指标,建立了基于总糖和纤维素的真实检测值和理论预测值为基础的配方烟丝均匀度评价公式,具有较高的准确性和灵敏度。通过与现有标准方法对比,本方法对样本量需求较小,所测指标较少,可作为标准方法的辅助判定方法。同时随着总糖、纤维素的近红外预测模型不断发展,准确度不断提高^[11-12]可实现总糖和纤维素的快速分析,使得本方法作为配方烟丝均匀度评价方法具有极强的应用前景。

参考文献

- [1] 陈小明. 烟丝掺配均匀性的近红外光谱识别[J]. 福建分析测试, 2012(2): 59-62.
- [2] 严志景, 丁乃红, 张超, 等. 烟草混合均匀度衡量指标的构建[J]. 云南农业大学学报, 2013, 28(6): 825-833.
- [3] 杜启云, 蔡继宝, 陈广平, 等. 化学常规指标评价烟丝掺配均匀性的研究[J]. 化学工程与装备, 2010(4): 1-4.
- [4] 堵劲松, 刘栋, 徐大勇, 等. 一种卷烟烟丝混合均匀度的测定方法: 中国, 102519819B [P]. 2012-06-27.
- [5] 唐军, 朱勇, 刘泽, 等. 一种表征叶丝、膨胀丝和梗丝掺配均匀性的方法: 中国, 103263069A [P]. 2013-08-28.
- [6] 蒋宇阳, 朱成文, 郝喜良, 等. 一种评价成品卷烟烟支内烟丝混合均匀性的方法: 中国, 102818769B [P]. 2012-12-12.
- [7] 杨乾棚, 和智君, 杨蕾, 等. 复合酶条件优化对烟梗品质提升研究[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(11): 1 206-1 211.
- [8] 殷艳飞, 王浩雅, 冯洪涛, 等. 国内外造纸法再造烟叶化学成分差异性分析[J]. 现代科学仪器, 2014(4): 109-113.
- [9] 王瑞新. 面向 21 世纪课程教材: 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 99-280.
- [10] 李卫, 闫克玉, 杜荣杰, 等. 国产烤烟总灰分含量对比分析[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2009, 24(5): 33-35.
- [11] 王东丹, 秦西云, 赵立红, 等. 应用近红外光谱技术分析烟丝总糖和还原糖的研究[J]. 分析试验室, 2007, 26(5): 30-32.
- [12] 王家俊, 梁逸曾, 汪帆. SIMCA 分类法与偏最小二乘法结合近红外光谱检测卷烟的内在品质[J]. 计算机与应用化学, 2006, 23(11): 1 133-1 136.
- [13] 郑义, 邵颖, 陈安徽, 等. 益智仁总黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 44-49.
- [14] 石雪萍, 李小华, 杨爱萍. 高良姜中总黄酮提取与 DPPH 自由基清除活性研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(6): 53-56.
- [15] KÖSE L P, GULCIN I, GOREN A C, et al. LC-MS/MS analysis, antioxidant and anticholinergic properties of galanga (*Alpinia officinarum* Hance) rhizomes[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 74: 712-721.
- [16] RÍOS J L, FRANCINI F, SCHINELLA G R. Natural Products for the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus[J]. Planta Medica, 2015, 81(12/13): 975-994.
- [17] OJIMA T, AIZAWA K, SABURI W, et al. α -Glucosylated 6-gingerol: chemoenzymatic synthesis using α -glucosidase from Halomonas sp. H11, and its physical properties[J]. Carbohydrate Research, 2012, 354: 59-64.
- [18] YU Long-quan, SHIRAI N, SUZUKI H, et al. The effect of methanol extracts of tsao-ko (*Amomum tsao-ko* Crevost et Lemaire) on digestive enzyme and antioxidant activity *in vitro*, and plasma lipids and glucose and liver lipids in mice[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology (Tokyo), 2010, 56(3): 171-176.
- [19] CHENG Zhi-hong, MOORE Jeddrey, YU Liang-li. High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(20): 7 429-7 436.
- [20] ALI M Y, JUNG H J, JANNATS, et al. *In Vitro* antidiabetic and antioxidant potential of the ethanolic extract of skipjack tuna (*katsuwonus pelamis*) heart[J]. Journal of Food Biochemistry, 2016, 40(4): 583-592.
- [21] SREERAMA Y N, TAKAHASHI Y, YAMAKIK. Phenolic antioxidants in some vigna species of legumes and their distinct inhibitory effects on alpha-glucosidase and pancreatic lipase activities[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(9): C927-C933.
- [22] MCDUGALL G J, KULKARNI NN, STEWART D. Berry polyphenols inhibit pancreatic lipase activity *in vitro*[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 193-199.
- [23] KANG Wen-yi, SONG Yan-li, ZHANG Li. α -Glucosidase inhibitory and antioxidant properties and antidiabetic activity of *Hypericum ascyron* L[J]. Medicinal Chemistry Research, 2011, 20(7): 809-816.

(上接第 144 页)