

4 种薯类食品多项指标的灰色模式识别分析

周利兵, 侯守芳

(广西科技师范学院 食品与生化工程学院, 广西 来宾 546199)

摘要:选择我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品作为研究对象, 对食品多指标测定与综合评价. 从燃烧热、燃烧稳定性、脂肪、灰分、粗纤维含量方面评价食品营养. 测定 4 种食品燃烧热、燃烧稳定性、脂肪、灰分及粗纤维含量, 并从食品营养方面用化学计量方法进行质量评价与分类. 结果表明, 4 种薯类食品燃烧热大小顺序为: 葛根 > 红薯 > 山药 > 紫薯, 燃烧稳定性排序为: 山药 > 葛根 > 紫薯 > 红薯, 脂肪含量顺序为: 葛根 > 紫薯 > 红薯 > 山药, 灰分含量顺序为: 葛根 > 山药 > 红薯 > 紫薯, 粗纤维含量顺序为: 紫薯 > 山药 > 葛根 > 红薯, 多指标化学计量分析顺序为: 山药 > 葛根 > 紫薯 > 红薯. 这项研究为热重分析方法研究食品燃烧稳定性评价与研究提供理论支持, 这项研究建立的多指标综合评价体系为食品营养评价提供一种新思路, 这项研究为大规模开发食品资源以及食品分类研究提供有力科学依据.

关键词:食品营养; 焓值法; 热重分析; 燃烧热; 灰色模式识别; 灰色关联系数聚类分析

中图分类号:TS210.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-8513(2024)01-0056-07

红薯作为主要的农作物之一, 红薯是人们熟知的食物^[1]. 紫薯中含有人体所需的多种氨基酸和矿物质元素^[2]. 为准确地评价不同紫薯营养品质差异, 测定 9 个品种紫薯的水分、淀粉、蛋白质、膳食纤维、花青素、总酚、类黄酮、维生素 C、维生素 B2 营养成分指标^[3]. 薯类食品含有蛋白质、人体必需的微量元素、膳食纤维等成分. 本文选择我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品作为研究对象, 建立 4 种薯类食品的多指标综合评价体系.

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

选取我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品作为分析样本, 4 种薯类食品购于来宾市农贸市场, 样品均用研钵研细并过 40 目药典筛.

HR-15BH 系列燃烧热测定实验装置、点火丝(镍铬丝)、压片机(湖南长沙长兴高教仪器设备有限公司); 粉碎机(FW135 型, 天津市泰斯特仪器有限公司); FA200 电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司); NETZSCH STA 2500 热重分析仪、坩埚(德国 NETZSCH 公司); SE206 脂肪测定仪、F1600 全自动纤维测定仪(济南阿尔瓦仪器有限公司); AUY120 万分之一电子分析天平(岛津公司); GZX-GF101-3-S 干燥箱(上海沪粤明科学仪器有限公司); SX-4-10P 马弗炉(天津市泰斯特仪器有限公司).

苯甲酸(分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 2006003 药用胶囊(广东生物有限公司)、石油醚(沸程 30~60℃)、石油醚(沸程 60~90℃)、滤袋、耐酸碱笔、水(三级水)、硫酸溶液 0.13 mol/L、氢氧化钾溶液 0.23 mol/L、盐酸溶液 0.5 mol/L, 均为国产分析纯.

1.2 各指标测定方法

薯品燃烧热的测定利用氧弹量热计测定燃烧热, 参阅文献[4]; 热重分析是在程序控温和一定气氛下,

收稿日期: 2022-02-14.

基金项目:广西科技师范学院重点科研资助项目(GXKS2021ZD004); 广西科技师范学院高等教育本科教学改革工程项目(2021GKSYGA04); 广西科技师范学院高层次人才项目(GXKS2020GKY006); 广西科技师范学院校级《物理化学》课程思政(教发[2020]76号); 广西科技师范学院校级一流本科课程《物理化学》(科师政发[2020]68号).

作者简介:周利兵(1978-), 男, 教授. 主要从事食品药品质量评价、计算机化学、计量学和统计学多学科交叉融合研究.

测量试样的质量变化与温度或时间关系的技术,热重测定参阅文献[5-6];脂肪测定参照《GB5009.6—2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定》方法测定^[7];灰分的测定参照《GB5009.4—2016 食品安全国家标准食品中灰分的测定》方法测定;粗纤维测定参照《GBT5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定》方法测定.每个样品重复 3 次试验($n=3$, $CV\%<3\%$)

1.3 多指标综合评价方法

构建我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维的多指标综合分析的评价方法.

2 结果与讨论

2.1 薯类食品燃烧热的测定

根据实验数据,绘制样品红薯燃烧热测定曲线,重复 3 次实验,雷诺温度 ΔT 曲线图(见图 1).样品名称:红薯第一组实验样品.求得 $W_{卡}=14\,466.140\text{ J}/^{\circ}\text{C}$, $Q_{胶囊}=20\,265.7760\text{ J/g}$,点火丝质量 0.0089 g ,样品质量为 0.2542 g ,空胶囊质量为 0.1013 g ,根据, $\Delta m_{粗粒} Q_v = W_{卡} \Delta T - Q_{点火丝} \Delta m_{点火丝} - Q_{胶囊} m_{胶囊}$, $Q_{v,红薯}=15\,947.2344\text{ J/g}$.

同理,测定山药、葛根、紫薯燃烧热,重复 3 次试验.

4 种薯类食品燃烧热见表 1.由表 1 知,红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品燃烧热大小顺序为:葛根>红薯>山药>紫薯.4 种食品测试样燃烧热在 $10\,163.79\sim18\,206.898\text{ J/g}$ 之间, $CV\%=2.35\%\sim4.77\%$,其中葛根燃烧热 $18\,206.90\text{ J/g}$,能量最高,紫薯的燃烧热为 $10\,163.79\text{ J/g}$,能量相对较小.薯类食品的能量价值,在一定程度上也可从燃烧热上反映出来,在薯类食品分类研究方面提供有力科学依据.

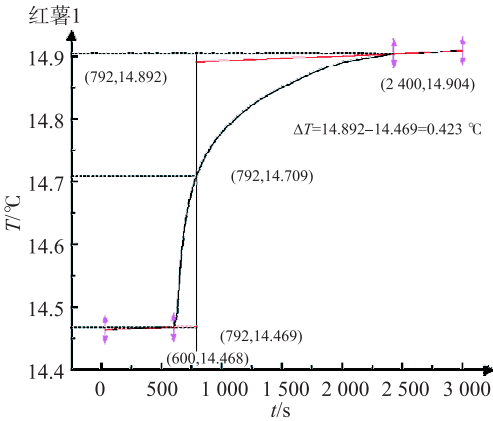


图 1 红薯雷诺温度 ΔT 曲线图

表 1 4 种薯类食品燃烧热 ($n=3$)

样品名称	$Q_{v\text{平均值}}/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	CV
红薯	15 592.962 5	0.023 5
山药	12 805.900 7	0.024 9
葛根	18 206.897 5	0.047 7
紫薯	10 163.791 9	0.040 8

2.2 热重分析

2.2.1 热重分析结果

1) 红薯热重分析 红薯的热重、热差曲线见图 2、图 3,热重分析数据见表 2.损失率为 5.07% ;温度直至 411.5°C ,损失率为 63.77% ;剩余样品质量为 22.36% .DTG 曲线峰形的拐点分别为 94.3 和 305.9°C .放热峰峰值为 120°C ,温度范围为 $85.5\sim170.7^{\circ}\text{C}$,峰面积为 $196.3\mu\text{Vs}$ ^[8].

表 2 红薯 TG-DTG 数据

名称	项目	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	失重百分比/ $\%$	失重最快温度/ $^{\circ}\text{C}$
红薯	峰 1	54.1~169.8	5.07	94.3
	峰 2	169.8~411.5	63.77	305.9

2) 山药热重分析 山药的热重、热差曲线见图 4、图 5,热重分析数据见表 3.损失率为 6.5% ;温度至 393.0°C ,损失率为 63.65% ;剩余样品质量为 20.3% .DTG 曲线峰形的拐点分别为 95.9°C 、 297.4°C .山药的 DTA 曲线峰值分别为 121.7°C 和 238.7°C ,温度范围分别为 $85.0\sim181.3^{\circ}\text{C}$ 和 $195.6\sim281.4^{\circ}\text{C}$,峰面积分别为 $187.2\mu\text{Vs}$ 和 $121.2\mu\text{Vs}$.

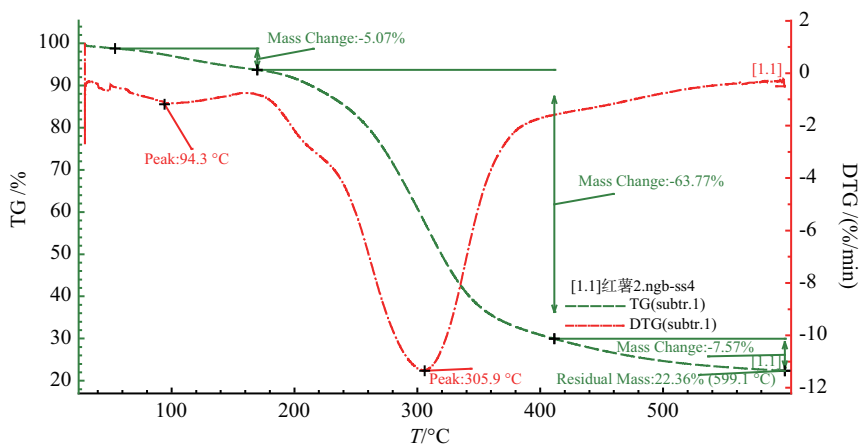


图 2 红薯热重 (TG) 曲线、微商热重 (DTG) 曲线

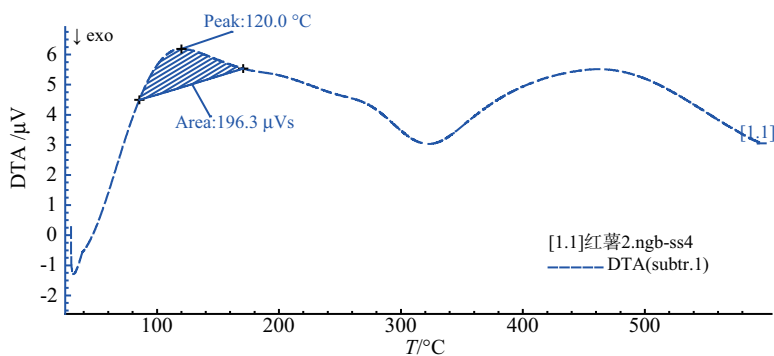


图 3 红薯的热差分析 (DTA) 曲线

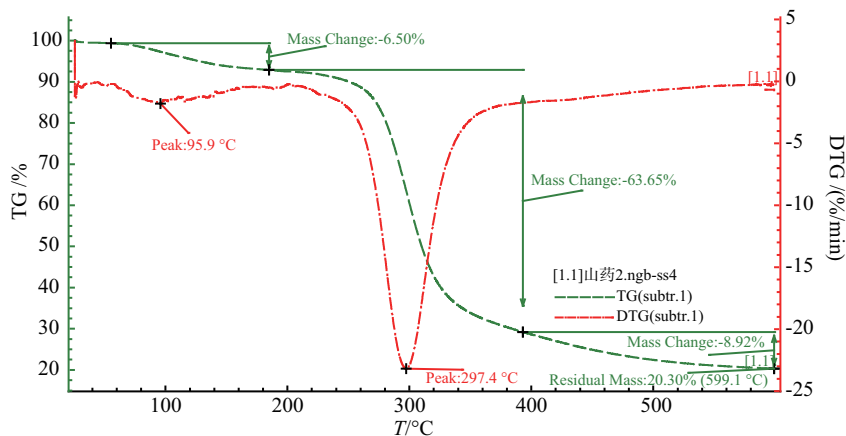


图 4 山药热重 (TG) 曲线、微商热重 (DTG) 曲线

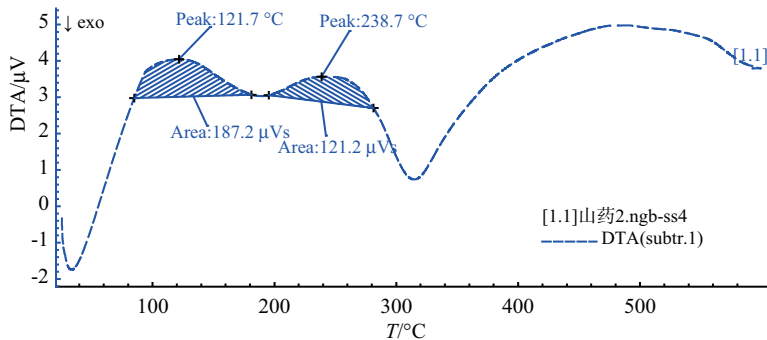


图 5 山药热差分析 (DTA) 曲线

表 3 山药的 TG - DTG 数据

名称	项目	温度范围/℃	失重百分比/%	失重最快温度/℃
山药	峰 1	55.3 ~ 185.0	6.5	95.9
	峰 2	185.0 ~ 393.0	63.65	297.4

3) 葛根热重分析 葛根的热重、热差曲线见图 6、图 7,热重分析数据见表 4. 损失率为 5.2%;温度至 419.9℃,损失率为 65.71%;剩余样品质量为 21.26%. DTG 曲线峰形的拐点分别为 107.1 和 300.9℃. 葛根的 DTA 曲线峰值分别为 128.5 和 240.9℃,温度范围分别为 99.8~180.9℃ 和 198.1~285.7℃,峰面积分别为 89.0 和 113.1 μVs.

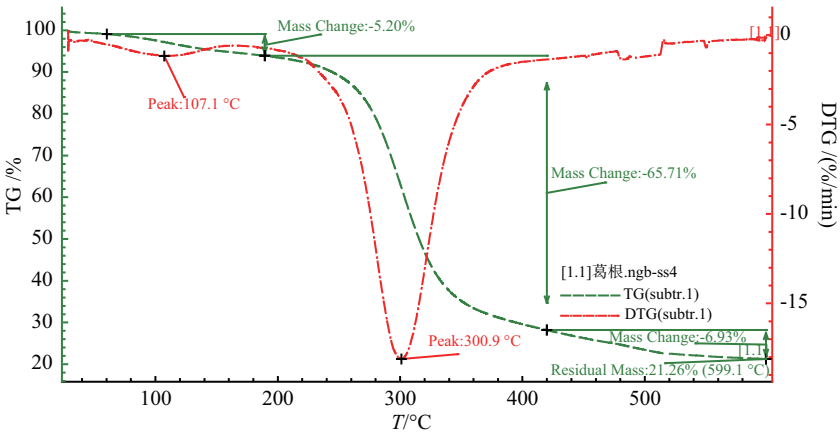


图 6 葛根热重 (TG) 曲线、微商热重 (DTG) 曲线

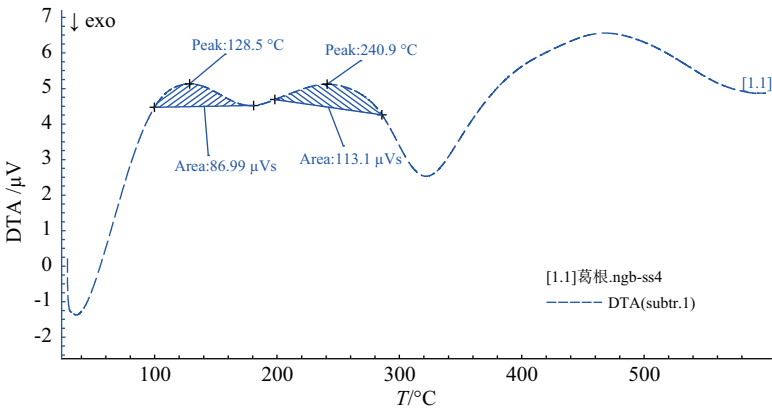


图 7 葛根热差分析 (DTA) 曲线

表 4 葛根 TG - DTG 数据

名称	项目	温度范围/℃	失重百分比/%	失重最快温度/℃
葛根	峰 1	60.3 ~ 189.3	5.2	107.1
	峰 2	189.3 ~ 419.9	65.71	300.9

4) 紫薯热重分析 紫薯的热重见图 8、图 9 和热重分析数据见表 5. 损失率为 4.58%;温度至 407.7℃,损失率为 62.26%;剩余样品质量为 24.69%. DTG 曲线峰形的拐点分别为 125.4 和 303.5℃.

2.2.2 燃烧稳定性分析

根据 4 种薯类食品燃烧性参数数据构建燃烧热多指标评价体系. 热重则是通过热重分析仪研究食品颗粒在不同升温速率中的燃烧特性指数,判断食品的燃烧稳定性^[9]. 本课题根据熵值法^[10],采用 EXCEL 计算,红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品 *F* 值为 0.349 2、0.556 0、0.486 4、0.398 6,4 种食品燃烧稳定性排序为:

山药 > 葛根 > 紫薯 > 红薯. 这项研究为热重分析方法研究薯类食品燃烧稳定性评价与研究提供有力地科学依据.

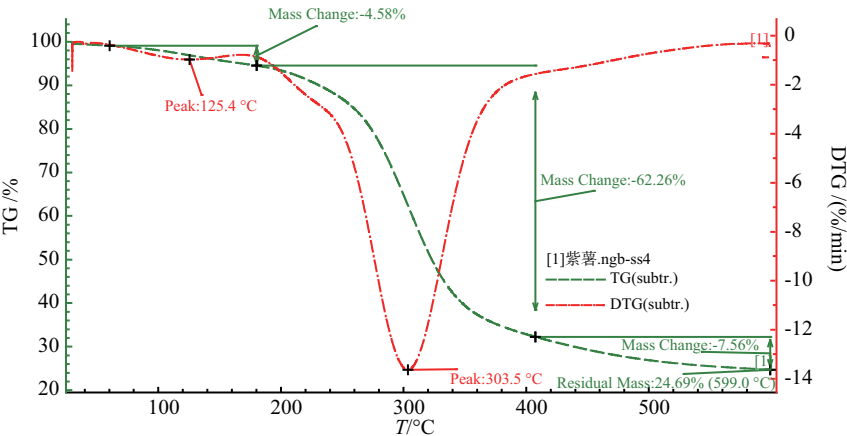


图 8 紫薯热重 (TG) 曲线、微商热重 (DTG) 曲线

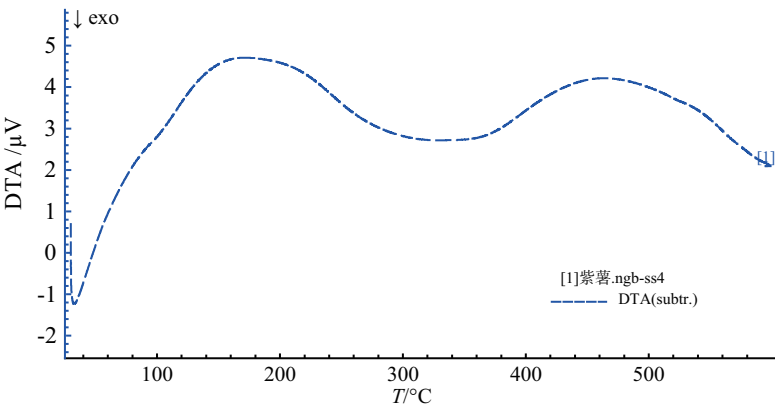


图 9 紫薯热差分析 (DTA) 曲线

表 5 紫薯 TG - DTG 数据

名称	项目	温度范围/℃	失重百分比/%	失重最快温度/℃
紫薯	峰 1	60.5 ~ 125.8	4.58	125.4
	峰 2	125.8 ~ 407.7	62.26	303.5

2.3 脂肪、灰分、粗纤维的测定

4 种薯类食品脂肪、灰分、粗纤维含量测定结果见表 6. 由表 6 知,红薯、山药、葛根、紫薯 4 种薯类食品脂肪含量(%)大小顺序为:葛根 > 紫薯 > 红薯 > 山药,灰分含量大小顺序为:葛根 > 山药 > 红薯 > 紫薯,粗纤维含量大小顺序为:紫薯 > 山药 > 葛根 > 红薯. 4 种食品测试样脂肪含量在 0.23% ~ 0.48% 之间, CV% < 3%, 其中葛根、紫薯脂肪含量 0.45% 左右, 脂肪含量最高, 红薯、山药脂肪含量 0.3% 左右. 薯类食品的营养价值,在一定程度上也可从脂肪、灰分、粗纤维含量上反映出来. 把脂肪、灰分、粗纤维含量作为评价食品营养的一个重要依据之一.

表 6 4 种薯类食品脂肪、灰分、粗纤维含量测定结果

(n = 3, CV% < 3%)

样品名称	脂肪含量/%	灰分/%	粗纤维/%
红薯	0.375 2	2.687 9	0.112 6
山药	0.239 2	3.575 9	0.970 6
葛根	0.470 2	3.963 3	0.817 3
紫薯	0.425 6	2.548 6	1.156 6

3 讨论与结语

3.1 多指标分析综合评价方法

根据灰色模式识别方法^[11],构建我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯4种薯类食品多指标燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维含量多指标分析综合评价方法,计算得到红薯、山药、葛根、紫薯4种薯类食品关联度为0.7872、0.8802、0.8696、0.7917。由多指标分析综合评价结果知,我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯4种薯类食品多指标燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维含量的化学计量分析综合评价如下:山药>葛根>紫薯>红薯。从燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维含量多指标分析综合评价来看,山药食品营养最高,葛根次之。

3.2 灰色关联系数聚类分析

根据灰色关联系数聚类分析文献方法^[12],构建我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯4种薯类食品多指标燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维含量多指标分析聚类分析图。灰色关联系数聚类分析树图见图10。由图10可见,根据我国不同地区红薯、山药、葛根、紫薯4种薯类食品多指标燃烧热、燃烧性(燃烧稳定性)、脂肪含量、灰分、粗纤维含量灰色关联系数聚类分析的树形结果知,多指标分析聚类分析图分为两大类,一类为山药、葛根、紫薯、红薯为一类,通过灰色系统聚类分析可以寻找不同产地薯类食品间的性质的相类程度及亲缘关系,可以帮助我们更好地根据食品多指标评价体系及从食品营养方面研究分类。

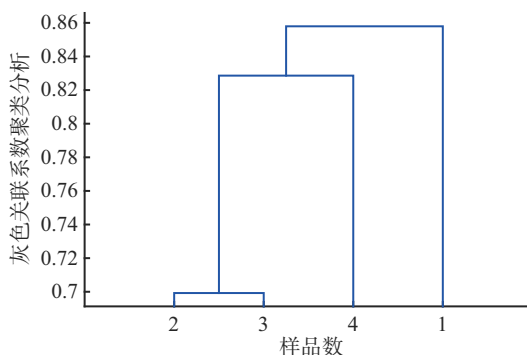


图10 灰色关联系数聚类分析的树形图

本文把薯类食品的热值、差热-热重分析、脂肪含量、粗纤维以及灰分含量数据等指标通过灰色模式识别方法、灰色关联系数聚类分析方法构建一个系统的多指标综合评价体系,这项研究建立的多指标综合评价体系为食品营养评价提供一种新思路,这项研究为大规模开发薯类食品资源以及分类研究提供有力科学依据。

参考文献:

- [1] 李松昂,吴章毅,陈红,等. 超声辅助酶法提取红薯叶多糖、结构及抗氧化研究[J]. 粮食与油脂,2021,34(11):83-89,93.
- [2] 唐婷,韦璐,赵琤. 紫薯果胶类多糖的成分分析及稳定性研究[J]. 食品研究与开发,2021,42(3):20-24.
- [3] 张梦潇,周文化,周虹,等. 不同品种紫薯营养主成分及聚类分析[J]. 中国粮油学报,2020:1-7.
- [4] 张帅,周利兵. 不同厂家三黄片燃烧热检测及质量评价[J]. 贵州农机化,2019(3):29-31.
- [5] 徐梅,王燕,邓磊. 采用热重分析对煤燃烧特性的影响因素研究[J]. 中国水泥,2022(1):78-80.
- [6] 余永生,杨婷,周利兵. 清开灵胶囊、清肺抑火片、莲花清瘟胶囊燃烧分析[J]. 安徽化工,2021,47(6):145-148.
- [7] 张晓婷,潘建君,王知,等. 食品中脂肪测定国家标准的分析与探讨[J]. 食品工业科技,2018:1-7.
- [8] ZHOU L B,JIANG C Y,LIN Q X. Entropy analysis and grey cluster analysis of multiple indexes of 5 kinds of genuine medicinal materials. [J]. Scientific reports,2022,12(1):6618.
- [9] 蒋才云,张艺轩,杨婷,等. 清火栀麦片、清咽片、咽炎片热重及热值分析[J]. 山东化工,2021,50(12):87-89,95.
- [10] 卢翠文,陈梦,露杨婷,等. 4种清热解毒药燃烧分析[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2022,31(1):47-54.
- [11] 周利兵. 我国不同产地牡丹皮质量的灰色计量学研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(19):160-162.
- [12] 周利兵. 不同产地葛根质量的灰色模式识别和灰色系统聚类分析[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(11):159-161.

Grey pattern recognition analysis of multiple indexes of four kinds of potato food

ZHOU Li-bing, HOU Shou-fang

(College of Food and Biochemical Engineering, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin 546199, China)

Abstract: Four kinds of potato food including sweet potato, Chinese potato, kudzu root, purple potato in different regions of China were selected as the research objects for multi-index determination and comprehensive evaluation. The food nutrition was evaluated from the aspects of combustion heat, combustion stability, fat, ash and crude fiber contents. The combustion heat, combustion stability, fat, ash and crude fiber contents of four kinds of food were determined, and the quality evaluation and classification were carried out by stoichiometric method from the aspect of food nutrition. The results showed that the order of combustion heat of 4 kinds of potato food was kudzu root > sweet potato > Chinese potato > purple potato, the order of combustion stability was Chinese potato > kudzu root > purple potato > sweet potato, the order of fat content was kudzu root > purple potato > sweet potato > Chinese potato, the order of ash content was kudzu root > Chinese potato > sweet potato > purple potato, the order of crude fiber content was purple potato > Chinese potato > kudzu root > sweet potato, the order of multi-index stoichiometric analysis was Chinese potato > kudzu root > purple potato > sweet potato. This study provides theoretical support for the evaluation and research of food combustion stability by thermogravimetric analysis. The multi-index comprehensive evaluation system established in this study provides a new idea for food nutrition evaluation, and provides a strong scientific basis for large-scale development of food resources and food classification research.

Key words: food nutrition; entropy method; thermogravimetric analysis; combustion heat; grey pattern recognition; grey correlation coefficient cluster analysis

(责任编辑 王琳)

~~~~~  
(上接第55页)

## Effect of wormwood on the quality of rice wine and optimization of fermentation technology for wormwood rice wine by response surface methodology

HUANG Yao-yan, YE Wan-lin, LIN Ji-hui, TANG En

(College of Life Science and Chemistry, Minnan Science and Technology Institute, Nan'an 362332, China)

**Abstract:** Using glutinous rice as the raw material, wormwood rice wine was prepared through composite fermentation with selected wormwood and sweet wine koji. By measuring the pH value, total sugar, amino acids, and antioxidant properties of mugwort rice wine, the quality changes of the rice wine brewed with mugwort were explored. The experimental results showed that compared to ordinary rice wine, the pH value of wormwood rice wine remained unchanged, and the sugar content, antioxidant properties, and other factors were greatly increased. The overall amino acid content remained unchanged, but the content of essential amino acids increased. This indicates that adding wormwood fermentation to rice wine is beneficial for improving the quality of rice wine. Through single factor and response surface methodology experiments, the optimal fermentation process for wormwood rice wine was studied as follows: wormwood extract 0.17 g/mL, yeast inoculation 1.41 g, and fermentation time 34 h. The antioxidant activity of rice wine was 53.58%.

**Key words:** wormwood; rice wine; oxidation resistance; response surface; amino acids

(责任编辑 王煜丹)