

西藏不同海拔牦牛酥油的营养、风味及功能特性比较

Comparison of nutritional, flavor and functional characteristics of Tibetan yak butter at different altitudes

谢司伟¹ 刘春爱¹ 孙术国¹ 罗章² 杨飞艳¹

XIE Si-wei¹ LIU Chun-ai¹ SUN Shu-guo¹ LUO Zhang² YANG Fei-yang¹

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 西藏农牧学院食品科学学院, 西藏 林芝 860000)

(1. Faculty of Food Science and Engineering, Center South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Food Science College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 86000, China)

摘要: 分析比较了西藏地区不同海拔高度(2 500~2 800, 3 500~4 000 m 以及 4 300 m 以上)的牦牛酥油的脂肪酸组成、挥发性组分、流变特性以及抗氧化活性等指标的差异。结果表明,海拔高度对脂肪酸组成、挥发性组分、流变特性以及抗氧化活性影响显著($P < 0.05$)。海拔 2 500~2 800 m 的牦牛酥油的不饱和脂肪酸含量相对最高;海拔 4 300 m 以上的牦牛酥油的气味纯正,风味品质最佳;海拔 3 500~4 000 m 的牦牛酥油具有最好的流动性。不同海拔的牦牛酥油均有不同程度的抗氧化能力,其中海拔 2 500~2 800 m 的牦牛酥油具有最强的 DPPH 自由基(66.99 mmol/100 g Trolox)、羟基自由基(26.71 mmol/100 g Trolox)和超氧阴离子清除能力(22.85%),以及铁离子螯合抗氧化能力(1.41%)。

关键词: 酥油; 海拔高度; 脂肪酸; 挥发性组分; 抗氧化功能

Abstract: The fatty acid composition, volatile components, rheological properties and antioxidant activity of yak butter at different altitudes (2 500~2 800 m, 3 500~4 000 m and above 4 300 m) in Tibetan were analyzed and compared. The results showed that altitude had significant effects on fatty acid composition, volatile components, rheological properties, and antioxidant activity ($P < 0.05$). The unsaturated fatty acid content of yak butter at altitude of 2 500~2 800 m was the highest. Yak butter with an altitude of more than 4 300 m had pure

smell and best flavor quality. Yak butter at altitudes of 3 500~4 000 m had the best fluidity. Yak butter at different altitudes had different antioxidant abilities, among which yak butter at altitudes ranging from 2 500 m to 2 800 m had the strongest DPPH free radical (66.99 mmol/100 g Trolox), hydroxyl free Trolox (26.71 mmol/100 g Trolox), superoxide anion scavenging ability (22.85%), and iron ion chelating antioxidant ability (1.41%).

Keywords: butter; altitude; fatty acid; volatile components; antioxidant function

中国西藏地区有着特殊的高寒气候,为了适应这一气候,藏人通过食用牦牛及其乳制品来补充蛋白质和能量^[1]。酥油是一种典型的牦牛乳制品,是从牦牛乳中提炼出来的,类似黄油^[2],是藏区人们最喜爱的食物之一。与普通黄油相比,酥油的功能、营养价值更高,主要体现在其不饱和脂肪酸含量更高,功能性脂质比普通黄油更丰富,如其共轭亚油酸(CLA)是普通黄油的 2 倍多,油酸约为普通黄油的 8 倍^[3];酥油中也含有一定的抗氧化乳酸菌等^[4]。在欧美地区,共轭亚油酸被用作功能因子添加至保健品中以及应用于医学临床^[5-6],酥油还可以增加糌粑的营养和风味、治疗婴幼儿腹泻、益智以及治疗老年人便秘等。然而,酥油的营养价值和医疗功效受其原料配方、加工工艺以及海拔地区等条件的影响,有关其类似的基础研究报道甚少^[2,7]。研究拟以西藏 3 个不同海拔(2 500~2 800, 3 500~4 000 m 以及 4 300 m 以上)地区的牦牛酥油样品为研究对象,分析其在营养、流变特性、风味特性及抗氧化活性方面的差异,探索海拔高度对酥油营养及功能特性的影响,旨在为酥油的合理膳食、利用以及新产品开发提供依据。

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号:2018YFD0400102)

作者简介: 谢司伟,男,中南林业科技大学在读硕士研究生。

通信作者: 孙术国(1977—),男,中南林业科技大学副教授,硕士生导师,博士。E-mail: sshuguo@163.com

收稿日期: 2020-11-01

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

选取西藏 3 个不同海拔地区的市售牦牛酥油,分别编号为 S_2 (海拔 2 500~2 800 m), S_3 (海拔 3 500~4 000 m), S_4 (海拔 4 300 m 以上)。为了降低选样所造成的误差,同一海拔酥油原料购于 5 个不同的销售点,混匀后用于检测分析,并于 -20 °C 保存备用。

1.1.2 主要试剂

浓盐酸:分析纯,湖南汇虹试剂有限公司;

氯化铁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):分析纯,上海瑞永生物科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

紫外可见分光光度计:UV-2600 型,岛津仪器(苏州)有限公司;

差示扫描量热仪:DSC200F3 型,德国(耐驰)公司;

流变仪:DHR-2 型,德国 Rheotest 公司;

串联质谱仪:7890B/7000CGC/MS 型,美国安捷伦科技有限公司;

高效液相色谱仪:2777CUPLC system 型,美国 Waters 公司。

1.3 方法

1.3.1 脂肪酸组成分析 参照 GB 5009.168—2016 的第一法。

1.3.2 挥发性成分分析 采用 GC-MS 法^[8]。

1.3.3 流变特性分析 根据李婕好等^[7]的方法稍作修改。应变扫描:振荡模式,扫描频率 1 Hz,扫描温度 25 °C,平衡时间 180 s,应变范围 0.01%~100.00%;频率扫描:振荡模式,经应变扫描选定应变为 0.02%,扫描频率 0.1~10.0 Hz;测定酥油的储藏模量 G' 和损耗模量 G'' 。

1.3.4 抗氧化活性的测定

(1) DPPH 自由基清除能力:用无水乙醇配置浓度为 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液。称取 2 g 样品,加入少量 70%乙醇超声提取 1 h,定容至 100 mL,过滤备用。取 0.5 mL 待测样品,加入 0.5 mL 乙醇和 3 mL DPPH 溶液,测定 518 nm 处吸光度;以未添加 DPPH 溶液的样品为对照组,以未添加样品的为空白组,测定 518 nm 处吸光度。按式(1)计算 DPPH 自由基清除能力^[9]。

$$R_1 = \frac{c \times 100 \times n \times V}{m}, \quad (1)$$

式中:

R_1 ——DPPH 自由基清除率,mmol/100 g Trolox;

c ——标曲读数;

100——每 100 g 标准品中含有 Trolox 的量,mmol;

n ——稀释倍数。

(2) 铁离子还原抗氧化能力(FRAP):将醋酸钠缓冲液(pH 3.6)、三氯化铁(20 mmol/L)、TPTZ(10 mmol/L)按 $V_{\text{醋酸钠缓冲液}}:V_{\text{三氯化铁}}:V_{\text{TPTZ}}=10:1:1$ 混匀制得工作液。取 0.5 mL 70%乙醇、0.5 mL 酥油水解液、9 mL 工作液混匀,37 °C 恒温培养 10 min,以缓冲液为空白,测定 593 nm 处吸光度值,按式(2)计算铁离子还原抗氧化能力^[10]。

$$R_2 = \frac{C \times V_1 \times 10}{m \times V_2 \times 1\,000}, \quad (2)$$

式中:

R_2 ——铁离子还原抗氧化能力,mmol/100 g Trolox;

C ——标曲读数;

V_1 ——样品提取总体积,mL;

V_2 ——所测样品体积,mL;

m ——样品质量,g;

10——反应体系总体积,mL。

(3) 羟基自由基清除能力:分别取 2 mL 磷酸盐缓冲液(pH 7.4,0.2 mol/L),0.3 mL 邻菲罗啉溶液(5 mmol/L),混匀,加入 0.2 mL FeSO_4 溶液(7.5 mmol/L),加入酥油水解上清液,混匀,再加入 2 mL H_2O_2 (1%),并补充体积至 8 mL。另设置未损伤管和损伤管,其中未损伤管不加 H_2O_2 ,损伤管加入 1 mL H_2O_2 。37 °C 保温 1 h,测定 536 nm 处吸光值,按式(3)计算羟基自由基清除率^[11]。

$$R_3 = \frac{A_2 - A_0}{A_1 - A_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R_3 ——羟基自由基清除率,%;

A_0 ——未损伤管的吸光值;

A_1 ——损伤管的吸光值;

A_2 ——加样品液的吸光值。

(4) 超氧阴离子自由基清除能力:取 5 mL Tris-HCl 缓冲液(50 mmol/L,pH 8.2),25 °C 水浴 20 min,再加入 0.5 mL 邻苯三酚溶液(0.3 mmol/L),立即混匀倒入比色杯中,测定 325 nm 处吸光度值,每 30 s 测定一次,共 5 min。以时间为横坐标,吸光值为纵坐标绘制曲线,其斜率为邻苯三酚自氧化速率。以 1 mL 样品溶液代替 1 mL 蒸馏水绘制曲线,其斜率为样品超氧阴离子清除速率。按式(4)计算超氧阴离子自由基清除率^[12]。

$$R_4 = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

R_4 ——超氧阴离子自由基清除率,%;

V_0 ——邻苯三酚氧化速率;

V_1 ——样品超氧阴离子清除速率。

(5) 过氧化氢清除能力(H_2O_2):取 2 mL 样品与 800 μ L 过氧化氢(4 mmol/L)混匀,室温培养 20 min,以蒸馏水为对照,再加入 1 200 μ L HRPase-苯酚红溶液(300 μ g/mL)室温培养 10 min,测定 610 nm 处吸光度值,并按式(5)计算过氧化氢清除率^[13]。

$$R_5 = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

R_5 ——过氧化氢清除率,%;

A_1 ——样品组吸光度值;

A_0 ——对照组吸光度值。

1.4 数据分析

每个样品重复 3 次,采用 GraphPad Prism 8 软件进行数据分析,结果表示为平均值 $\pm$ 标准差;采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和显著性检验,采用 Origin lab 2017 软件制图。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸组成比较

由表 1 可知,西藏牦牛酥油主要含有棕榈酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、油酸($C_{18:1n9c}$),其中,油酸含量随海拔高度的增高而显著降低($P<0.05$),与喻峰等^[2]的结论基本一致。不同海拔的牦牛酥油含有不同浓度的功能性脂肪酸,如 S_2 含有更高比例的棕榈油酸、 α -亚麻酸和木焦油酸, S_3 含有更高比例的亚油酸和顺-11-二十碳-烯酸, S_2 含有更高比例的肉豆蔻油酸和花生四烯酸。这可能是因为不同海拔高度的牦牛奶脂肪酸成分存在差异^[14]。

2.2 挥发性成分比较

由表 2 可知,西藏牦牛酥油中含有 25 种风味物质,包括酸类、烯炔类、醇类、酮类、醛类、烷烃类和芳香烃类。酥油的主要呈味物质是烯炔类,呈果香和芳香味,其挥发性组分含量高达 26.14%。

由表 3 可知,不同海拔高度的牦牛酥油均有 10 种以上风味物质,其种类丰富,整体香气丰满协调,构成了酥油独特的风味特征。低海拔酥油 S_2 的挥发性组分主要为酸类,其次是烯炔类、酮类、醛类和醇类,由于酸类较多,导致酥油 S_2 具有一定的刺鼻酸败味,降低了其风味品质。中度海拔 S_3 的挥发性组分主要为烯炔类,其次是芳香烃类、酸类、酮类、醛类和醇类,因其不含刺鼻酸败味的 3-甲基丁酸和 2-甲基丁酸,但含有少量己酸,所以其风味品质较 S_2 明显提高。高海拔酥油 S_4 的主要挥发性组成是烯炔类和芳香烃类,其次是少量醛类和酮类,由于其挥发性组分中不含任何具有不良气味的酸类,而且其特征挥发性组成烯炔类和芳香烃类含量丰富,因此气味纯,风味品质最佳。这可能是因为酥油原料配比和加工工艺不同,也有可能与不同海拔地区酥油贮藏条件有关,如低海拔贮

表 1 不同海拔高度的牦牛酥油的脂肪酸组成[†]

Table 1 Fatty acid composition of yak butter at different altitudes %

脂肪酸	S_2	S_3	S_4
羊油酸($C_{6:0}$)	0.93 $\pm$ 0.01 ^b	0.44 $\pm$ 0.01 ^c	0.97 $\pm$ 0.02 ^a
羊脂酸($C_{8:0}$)	0.58 $\pm$ 0.01 ^b	0.31 $\pm$ 0.01 ^c	0.74 $\pm$ 0.01 ^a
羊蜡酸($C_{10:0}$)	1.27 $\pm$ 0.02 ^b	0.75 $\pm$ 0.02 ^c	1.84 $\pm$ 0.01 ^a
月桂酸($C_{12:0}$)	1.48 $\pm$ 0.02 ^b	1.12 $\pm$ 0.02 ^c	2.21 $\pm$ 0.04 ^a
十三碳酸($C_{13:0}$)	0.08 $\pm$ 0.01 ^b	0.07 $\pm$ 0.01 ^c	0.12 $\pm$ 0.01 ^a
肉豆蔻酸($C_{14:0}$)	7.50 $\pm$ 0.13 ^b	5.65 $\pm$ 0.41 ^c	8.61 $\pm$ 0.14 ^a
肉豆蔻油酸($C_{14:1n5}$)	0.51 $\pm$ 0.01 ^b	0.07 $\pm$ 0.01 ^c	0.63 $\pm$ 0.01 ^a
十五碳酸($C_{15:0}$)	1.23 $\pm$ 0.02 ^a	0.77 $\pm$ 0.01 ^b	1.23 $\pm$ 0.01 ^a
棕榈酸($C_{16:0}$)	27.20 $\pm$ 0.43 ^a	19.70 $\pm$ 0.28 ^b	26.90 $\pm$ 0.69 ^a
棕榈油酸($C_{16:1n7}$)	1.26 $\pm$ 0.02 ^a	1.09 $\pm$ 0.02 ^b	1.05 $\pm$ 0.01 ^c
珠光脂酸($C_{17:0}$)	0.86 $\pm$ 0.01 ^a	0.42 $\pm$ 0.01 ^c	0.75 $\pm$ 0.02 ^b
顺-10-十七碳-烯酸($C_{17:1n7}$)	0.27 $\pm$ 0.01 ^a	0.14 $\pm$ 0.01 ^c	0.24 $\pm$ 0.01 ^b
硬脂酸($C_{18:0}$)	13.20 $\pm$ 0.21 ^a	8.14 $\pm$ 0.13 ^c	11.50 $\pm$ 0.19 ^b
油酸($C_{18:1n9c}$)	20.37 $\pm$ 0.37 ^a	20.30 $\pm$ 0.33 ^b	15.30 $\pm$ 0.25 ^a
亚油酸($C_{18:2n6c}$)	1.37 $\pm$ 0.02 ^c	2.31 $\pm$ 0.04 ^a	1.83 $\pm$ 0.05 ^b
花生酸($C_{20:0}$)	0.53 $\pm$ 0.03 ^a	0.21 $\pm$ 0.01 ^c	0.39 $\pm$ 0.02 ^b
α -亚麻酸($C_{18:3n3}$)	0.96 $\pm$ 0.07 ^a	0.63 $\pm$ 0.05 ^c	0.86 $\pm$ 0.05 ^b
二十一碳酸($C_{21:0}$)	1.14 $\pm$ 0.07 ^b	1.81 $\pm$ 0.03 ^a	0.77 $\pm$ 0.01 ^c
山萘酸($C_{22:0}$)	0.27 $\pm$ 0.02 ^a	0.09 $\pm$ 0.01 ^c	0.23 $\pm$ 0.02 ^b
二十三碳酸($C_{23:0}$)	0.10 $\pm$ 0.01 ^a	—	0.070 $\pm$ 0.01 ^a
木焦油酸($C_{24:0}$)	0.19 $\pm$ 0.01 ^a	0.05 $\pm$ 0.01 ^c	0.16 $\pm$ 0.01 ^b
顺-11-二十碳-烯酸($C_{20:1}$)	0.043 $\pm$ 0.01 ^b	0.24 $\pm$ 0.03 ^a	—
花生四烯酸($C_{20:4n6}$)	0.06 $\pm$ 0.01 ^b	—	0.10 $\pm$ 0.01 ^a
EPA($C_{20:5n3}$)	0.02 $\pm$ 0.01 ^b	—	0.06 $\pm$ 0.01 ^b
芥酸($C_{22:1n9}$)	—	0.21 $\pm$ 0.01 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^b

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$),“—”表示含量很少或未检出。

藏条件下,由于环境湿度和氧气浓度相对较高,更易于导致富含不饱和脂肪酸的酥油酸败,但仍需进一步验证。

2.3 流变特性比较

由图 1 可知,随着频率的增大, G' 逐渐减小; G' 随海拔高度的上升而减少,说明随着海拔高度的增加,酥油在能量储存后可恢复的弹性性质也在逐渐减小。当频率为 0.01~1.00 rad/s 时, $\tan\delta$ 逐渐降低,当频率为 1~10 rad/s 时, $\tan\delta$ 随频率的增大而增大,且酥油 S_3 的 $\tan\delta$ 显著高于 S_4 和 S_2 的,黏性比例更大,表现出更强的流动性^[15-16]。

2.4 抗氧化活性比较

由图 2 可知,西藏牦牛酥油均有不同程度的抗氧化

表 2 牦牛酥油的挥发性组分含量[†]
Table 2 The volatile component content of yak butter

种类	化合物	风味特征	相对含量/%		
			S ₂	S ₃	S ₄
酸类	3-甲基丁酸	持久刺鼻酸败的奶油气味	2.18	—	—
	2-甲基丁酸	持久刺鼻酸败的奶油气味	2.18	2.18	—
	庚酸	脂肪味	2.78	—	—
	辛酸	酸干酪味	3.08	—	—
	己酸	干酪、油脂腥臭味	—	2.48	—
烯烃类	罗勒烯	草香、花香味	2.90	—	—
	环己烯	特殊刺激性气味	2.90	—	5.85
	双环-十一烯	几乎无臭味	4.36	4.36	—
	3-蒎烯	强烈的松木样香气	—	2.90	—
	柠檬烯	柠檬香味	—	2.90	—
	十一碳二烯	油脂气味	—	4.36	—
	双环-2-烯	类似樟脑气味	—	—	5.81
	二甲基-辛二烯	—	—	—	5.94
	邻菲烯	果香味	—	—	2.86
	杂环烯	果香味	—	—	4.36
醇类	氧化-苯甲酸甲醇	—	3.20	—	—
	2,3-丁二醇	—	—	1.92	—
酮类	丙酮	类似薄荷的香味	—	1.88	1.88
	环己二烯-二酮	—	4.70	—	—
醛类	壬醛	类似油脂花腊、玫瑰香味	3.03	3.03	3.03
烷烃类	环丁烷	轻微的不愉快气味	—	—	2.90
	双环-壬烷	木香气味	—	—	4.36
芳香烃类	1-甲基-苯	芳香味	—	2.86	—
	2-二甲基-苯	芳香味	—	2.82	—
	萘	香樟木气味	—	—	2.73

[†] “—”表示未检测到。

表 3 牦牛酥油的风味物质比较
Table 3 Comparison of flavor substances at yak butter

样品	主要挥发性成分
S ₂	3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、庚酸、辛酸、罗勒烯、环己烯、双环-十一烯、氧化-苯甲酸甲醇、环己二烯-二酮、壬醛
S ₃	2-甲基丁酸、己酸、双环-十一烯、3-蒎烯、柠檬烯、十一碳二烯、2,3-丁二醇、丙酮、壬醛、1-甲基-苯、2-二甲基-苯
S ₄	环己烯、双环-2-烯、二甲基-辛二烯、邻菲烯、杂环烯、丙酮、壬醛、环丁烷、双环-壬烷、萘

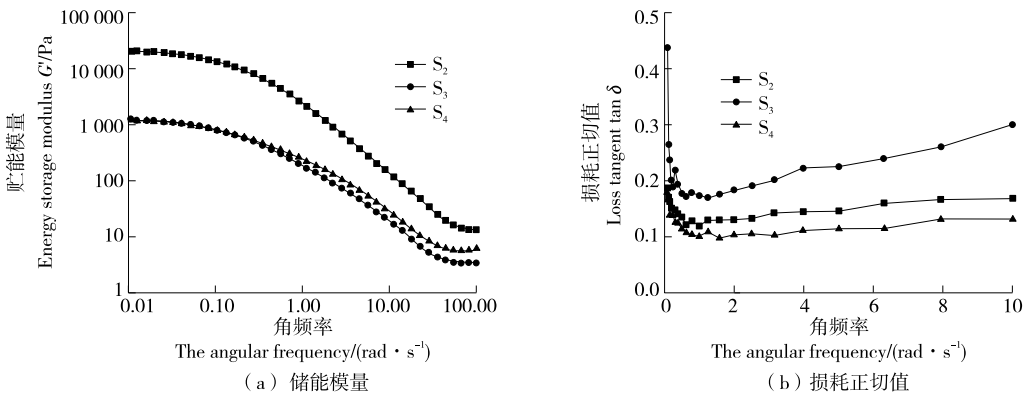


图 1 不同海拔牦牛酥油储能模量和损耗正切值随频率的变化

Figure 1 The energy storage modulus and loss tangent of yak butter at different altitudes vary with frequency

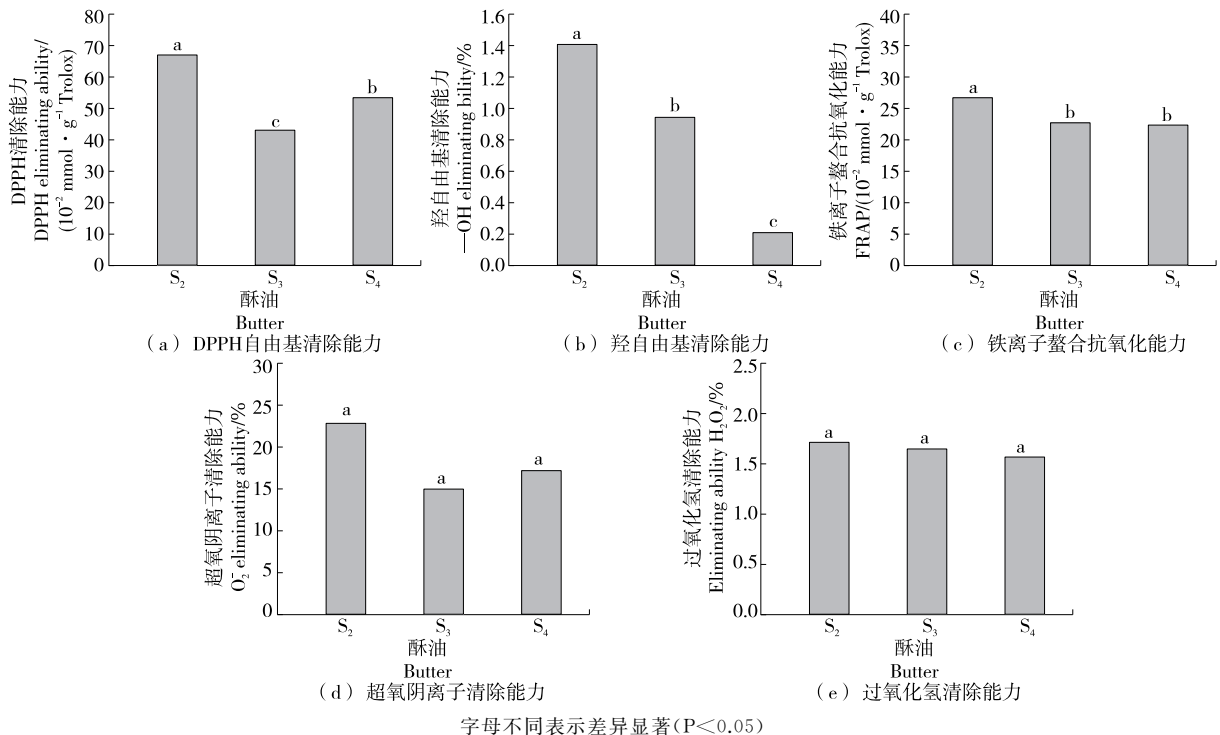


图2 不同海拔酥油的抗氧化能力

Figure 2 Antioxidant capacity of yak butter at different altitudes

能力。相对高海拔的酥油 S₃ 和 S₄, 低海拔的酥油 S₂ 具有更强的抗氧化活性, 包括更强的 DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力、超氧阴离子清除能力以及铁离子螯合抗氧化能力; 与酥油 S₄ 相比, 酥油 S₃ 具有更强的羟自由基清除能力。这可能是由于其组分的差异, 酥油中抗氧化活性成分主要是不饱和脂肪酸、蛋白质、功能脂肪酸、维生素等^[17-18], 如酥油 S₂ 在油酸、 α -亚麻酸和棕榈油酸等不饱和脂肪酸含量方面显著高于 S₃ 和 S₄。然而, 由于酥油组成成分的复杂性, 从不饱和脂肪酸含量角度解释酥油的抗氧化活性显然不够合理, 其抗氧化机制有待进一步探索。

3 结论

研究分析了海拔高度对西藏牦牛酥油的脂肪酸组成、挥发性成分、流变学特性及抗氧化功能的影响。结果表明, 海拔高度对牦牛酥油的脂肪酸组成、挥发性成分、流变学特性及抗氧化功能具有显著影响 (P<0.05), 其中海拔 2 500~2 800 m 的牦牛酥油的不饱和脂肪酸含量相对最高, 但海拔 4 300 m 以上的牦牛酥油的风味品质最佳, 海拔 3 500~4 000 m 的牦牛酥油具有更好的流动性。不同海拔的牦牛酥油均有不同程度的抗氧化能力, 其中海拔 2 500~2 800 m 的牦牛酥油具有最强的抗氧化活性。但牦牛酥油的风味形成机制和抗氧化机理还需进一步探讨。

参考文献

- [1] 吴桐, 杜鹏. 藏式牦牛酥油的研究进展[J]. 中国乳品工业, 2017, 45(11): 28-31.
- [2] 喻峰, 熊华, 吕培蕾, 等. 西藏牦牛酥油脂肪酸成分分析及功能特性评价[J]. 中国油脂, 2006, 31(11): 35-38.
- [3] 扎西穷达, 央拉, 刘吉爱, 等. 西藏牦牛酥油研究现状和展望[J]. 西藏科技, 2018(4): 26-30.
- [4] 李丹丹, 蒋婷婷, 张炎, 等. 高海拔地区传统牦牛酥油中抗氧化乳酸菌的筛选[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 50-55.
- [5] 孙美青, 马莺, 程金菊, 等. 牦牛酥油理化性质研究[J]. 中国乳品工业, 2016, 44(3): 9-11, 19.
- [6] 刘亚东, 宋秋, 霍贵成, 等. 马奶和母乳的营养成分比较分析[J]. 食品工业, 2012, 33(11): 156-158.
- [7] 李婕好, 马传国, 王英丹, 等. 6 种市售西藏酥油理化指标及物理特性分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(3): 38-46, 57.
- [8] 田晶, 李存满, 王玉春, 等. 快速溶剂萃取 GC-MS 分析不同枣的挥发性成分[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(22): 62-69.
- [9] BIPINBHAI K D, APAMATHI K D. Evaluation of commonly used herbs to enhance shelf life of ghee against oxidative deterioration[J]. Food Process Press, 2017, 42: e13658.
- [10] MIRIAM M, MANUEL O, JOSE A, et al. Antioxidant, ACE-inhibitory and antimicrobial activity of fermented goat milk: Activity and physicochemical property relationship of the peptide components[J]. Food Function, 2017(1): 1-9.

(下转第 33 页)

西米米饭质地柔软,黏性大,米汤固体溶出率大,食用品质较好,西米蒸煮时的吸水率和体积膨胀率与粳米、糯米有差异,总体来说西米蒸煮及食味品质优于粳米和糯米。西米溶解度和膨胀度与糯米接近但高于粳米,且随着温度的升高而增大,有利于西米的蒸煮。西米具有较高的析水率(61.01%),故冻融稳定性较差,不适合直接用于冷冻食品。西米抗性淀粉含量(13.54%)显著高于糯米(3.82%),低于粳米(27.38%)。西米与粳米、糯米的品质差异性与其组分、含量以及颗粒结构有关,有待进一步深入分析。

参考文献

- [1] 陈福泉,钟碧疆,吴正双,等. 西米淀粉颗粒性质的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(12): 193-196.
- [2] ARSHAD N H, ZAMAN S A, RAWI M H, et al. Resistant starch evaluation and in vitro fermentation of lemantak (native sago starch), for prebiotic assessment[J]. International Food Research Journal, 2018, 25: 951-957.
- [3] 毕玉,方芳,洪雁,等. 西米淀粉结构及消化特性[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 70-73.
- [4] OTHMAN Z, HASSAN O, HASHIM K. Physicochemical and thermal properties of gamma-irradiated sago (*Metroxylon sago*) starch[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2015, 109: 48-53.
- [5] KARIM A A, TIE A P, MANAN D M, et al. Starch from the sago (*Metroxylon sago*) palm tree: Properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7: 215-228.
- [6] 杜春微,高梦晗,刘庆,等. 黄米品质特性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 83-87.
- [7] 段春月,刘静,刘畅. 3种粟属坚果淀粉的结构及其理化特性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 72-78.
- [8] 杨光,丁霄霖. 抗性淀粉定量测定方法的研究[J]. 中国粮油学报, 2002(3): 59-62.
- [9] 郭亚丽,李芳,洪媛,等. 大米理化成分与米饭品质的相关性研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2015, 34(3): 1-6.
- [10] 杜双奎,杨红丹,于修焯,等. 商品粳米、籼米、糯米品质特性和糊化特性比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 78-81.
- [11] 陈翠兰,张本山. 西米物化性质的研究[J]. 食品工业科技, 2010(1): 78-80.
- [12] 黄亚伟,徐晋,王若兰. 不同品种五常大米储藏期间蒸煮品质与质构变化规律及相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(8): 33-38.
- [13] 夏凡,董月,朱蕾,等. 大米理化性质与其食用品质相关性研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(5): 100-107.
- [14] 李贞. 大米理化性质与食味品质的相关性[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(1): 89-92.
- [15] 卢绍闯,秦石秀,陈家丽,等. 龙爪粟淀粉的提取及理化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 65-71.
- [16] 王蕾,杜弘坤,卢晓黎. 盐酸改性工艺对糯米粉老化性质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(13): 79-93.
- [17] REKHA S S, JOHN F K, SAJILATA M G, et al. Industrial production, processing, and utilization of sago palm-derived products[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 72(1): 1-20.
- [18] 王丽霞,王敬臻,张金玲,等. 长山山药淀粉的制备及性能[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 156-161.
- [19] 苏晗,涂金金,陈竞豪,等. 淀粉冻融特性及其品质影响因素研究现状[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 31-40.
- [20] 刘素君,姚永伟,高宏欢,等. 不同小麦品种抗性淀粉含量及其与其他淀粉品质性状的关系[J]. 麦类作物学报, 2020(4): 455-463.
- [21] LOO Siew-wai, TAN Zi-ni, KARIM Alias A, et al. Fermentation of metroxylon sago resistant starch type III by *Lactobacillus* sp. and *Bifidobacterium bifidum*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(4): 2 274-2 278.
- (上接第 23 页)
- [11] MAO Xue-ying, CHENG Xue, WANG Xu, et al. Free-radical-scavenging and anti-inflammatory effect of yak milk casein before and after enzymatic hydrolysis[J]. Food Chem, 2011, 126(2): 484-490.
- [12] PEREIRA C, CALHELHA R C, BARROS L, et al. Antioxidant properties, anti-hepatocellular carcinoma activity and hepatotoxicity of artichoke, milk thistle and borututu[J]. Ind Crops Products, 2013, 49(4): 61-65.
- [13] LYDIA A, CHAWKI B, SALIHA A Z, et al. Antioxidant, tyrosinase and urease inhibitory activities of camel α S-casein and its hydrolysate fractions[J]. Small Ruminant Research, 2019, 173: 30-35.
- [14] 陈其芳. 不同季节牦牛奶脂脂肪酸分析[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(6): 61.
- [15] 彭小霞,李理,余保宁. 全谷物脱脂酸牛奶的理化性质及流变学特性研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 33-37.
- [16] 马晓灵,周坚. 葛粉与粳米粉复配挤压方便米饭流变学特性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 160-163.
- [17] CHEN Chao, CHEN Zheng-xing, LUO Xiao-hu, et al. Effects of milk proteins on the bio accessibility and antioxidant activity of oat phenolics during in vitro digestion[J]. Food Science, 2019, 84(4): 895-903.
- [18] ZANUTTO E M R, SOUZA V J C, DOPRADO D Z, et al. Production of milk peptides with antimicrobial and antioxidant properties through fungal proteases[J]. Food Chem, 2019, 278(25): 823-831.