

贮藏条件对扁桃仁分离蛋白理化特性及消化特性的影响

Effects of storage conditions on physical and chemical characteristics of almond protein isolates

王炜清¹ 李秀婷² 周彬¹ 李述刚¹

WANG Wei-qing¹ LI Xiu-ting² ZHOU Bin¹ LI Shu-gang¹

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北 武汉 430068; 2. 北京工商大学食品与健康学院, 北京 102488)

(1. School of Biological Engineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068, China;

2. School of Food and Nutrition, Beijing Technology and Business University, Beijing 102488, China)

摘要:以扁桃仁分离蛋白(almond protein isolate, API)为研究对象,探究不同贮藏条件(温度、包装方式、时间)对 API 理化特性及消化特性的影响。结果表明:随贮藏时间的延长,API 游离巯基逐渐减少,二硫键与羰基值逐渐增加;贮藏 9 个月后,API 分子量增大,主要集中在 50~70 kDa;随氧化程度的加深,API 的功能特性降低(溶解性与起泡特性);在 35 °C、非真空包装条件下,贮藏 9 个月后,API 的消化率最低(26.45%),其消化产物的独有肽段数少、分子量大。

关键词:扁桃;蛋白质;贮藏条件;理化特性;消化特性

Abstract: Taking the almond protein isolate (API) as the research object, explored the effect of different storage conditions (temperature, packaging method and time) on the physical and chemical properties and digestion properties of API. The results showed that the free sulfhydryl group of API gradually decreased and the disulfide bond and carbonyl value gradually increased with the storage time prolonged. After 9 months of storage, the molecular weight of API increased, mainly concentrated in 50~70 kDa; as the oxidation degree deepened, the function characteristics of API decreased (solubility and foaming characteristics); at 35 °C and non-vacuum packaging conditions, after 9 months of storage, the API had the lowest digestibility

(26.45%), and the number of unique peptides of the digested product was fewer and the molecular weight was larger.

Keywords: Almond; protein; storage conditions; physicochemical properties; digestive properties

扁桃(*Amygdalus communis* L.)又名巴旦木或巴旦仁,是世界上著名的干果树种和木本油料树种^[1]。扁桃仁营养丰富,含有大量脂肪、蛋白质、粗纤维、维生素及矿物质元素等^[2-3],同时扁桃仁还具有广泛的保健作用,如可降低糖尿病和冠心病等疾病的发生^[4-5]。但其高脂肪和高蛋白特性使其在加工过程中易发生品质劣变,如颜色、风味等变化,极大地限制了扁桃仁蛋白质在食品领域的应用。贮藏是产品加工过程中不可避免的一个环节,不同的贮藏条件将直接影响产品品质及货架期。目前,研究者们^[6-8]重点探究坚果油在贮藏过程中的变化,忽略了其蛋白质的品质变化。

试验拟以扁桃仁分离蛋白(almond protein isolate, API)为研究对象,以贮藏过程 API 结构与功能特性为观测指标,重点探究不同贮藏条件对 API 消化特性的影响,以期富含脂质和蛋白质的坚果类产品的贮藏与开发利用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

扁桃仁:购自新疆莎车县农贸市场;

5,5'-二硫代二硝基苯甲酸(DTNB)、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、8-苯胺-1-萘磺酸(ANS):优级纯,美国 Sigma 公司;

二硫苏糖醇(DTT):分析纯,Aladdin 阿拉丁试剂

基金项目:北京工商大学北京食品营养与人类健康高级创新中心开放项目(编号:20181007);中国国家自然科学基金(编号:31760477);兵团青年科技创新带头人建设项目(编号:2016BC001);湖北省教育厅重点项目(编号:D20171406)

作者简介:王炜清,女,湖北工业大学在读硕士研究生。

通信作者:李述刚(1979—),男,湖北工业大学教授,博士生导师,博士。E-mail:lishugang2010@163.com

收稿日期:2020-04-25

公司;

邻苯二甲醛(OPA):优级纯,美国 Sigma 公司;

其他试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

双光束紫外可见分光光度计:TU-1900 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

圆二色光谱仪:J-1500 型,日本 JASCO 公司;

电泳仪:DYY-8C 型,北京六一有限公司;

荧光分光光度计:F-4600 型,日本日立公司;

氨基酸分析仪:L-8900 型,日本日立公司;

质谱仪:Q Exactive 型,美国赛默飞世尔科技公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 扁桃仁去壳烘干后进行真空与非真空包装,置于不同温度(4, 25, 35 °C)下贮藏,分别于贮藏第 0, 1, 3, 6, 9 个月取样进行检测。

1.2.2 基本营养成分测定

(1) 水分含量:参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

(2) 蛋白质含量:参照 GB 5009.5—2006《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法。

(3) 脂肪含量:参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

(4) 还原糖含量:参照 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》。

(5) 灰分含量:参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》。

(6) 氨基酸组成:参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

1.2.3 扁桃仁蛋白的提取 采用碱溶酸沉法制备扁桃仁分离蛋白(almond protein isolate, API)^[9]。将扁桃仁脱皮后进行磨粉、过筛,采用石油醚(30~60 °C)进行脱脂得到扁桃仁脱脂粉。将脱脂粉溶于超纯水中[1:30 (g/mL)]并调节 pH 至 9.5, 35 °C 搅拌 3 h 后以 8 000 × g 离心 20 min。将上清液 pH 调至 4.5, 静置 15 min 后在 4 °C 下 8 000 × g 离心 20 min, 水洗沉淀 2 次。将沉淀物分散于超纯水中并调节 pH 至 7.0, 并在 4 °C 下透析 3 d, 冷冻干燥得蛋白粉。

1.2.4 理化特性测定

(1) 巯基、二硫键的测定:采用 Ellman's 试剂法^[10]。

(2) 羰基价的测定:采用 DNPH 法^[11]。

(3) 表面疏水性的测定:参照 Arzeni 等^[10]的方法,用 ANS 荧光探针测定蛋白质的表面疏水性(H_o)。

1.2.5 结构特性测定

(1) 二级结构的测定:配制 0.2 mg/mL 的 API 溶液于 0.1 cm 的石英比色皿中,扫描波长为 190~250 nm,扫描速率为 100 nm/min。

(2) 聚丙烯酰胺凝胶(SDS-PAGE)电泳:参照 Moritz 等^[12]的方法,利用 SDS-PAGE 对蛋白质分子量变化进行分析。浓缩胶与分离胶的浓度分别为 4%, 12%, 电压分别设置为 70, 100 V。

1.2.6 功能特性测定

(1) 溶解性:根据 Qu 等^[13]的方法,稍作修改。将 API 溶液(10 mg/mL)在室温下搅拌 1 h,以 8 000 × g 离心 20 min,上清液的蛋白质浓度采用考马斯亮蓝法测定,按式(1)计算溶解度。

$$S = \frac{C_1}{C_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——溶解度, %;

C_0 ——样品中蛋白质含量, mg;

C_1 ——上清液中蛋白质含量, mg。

(2) 起泡特性:参照胡静^[14]的方法,利用泡沫分析仪对扁桃蛋白的起泡性能进行测定。样品浓度为 10 mg/mL。

1.2.7 消化特性的测定

(1) 消化率:将 1 mL 胃蛋白酶溶液(40 mg/mL)加入到 20 mL 样品溶液(10 mg/mL)中,并将混合物的 pH 调节至 2.0。将混合物在 37 °C 水浴中于黑暗中振荡 3 h。最后,用 0.1 mol/L NaHCO₃ 溶液将样品溶液的 pH 值调节至 7.0,以终止反应^[15]。采用 OPA 试剂法^[16]测定 API 在消化过程中水解度变化。

(2) 消化产物分析:肽段的分析使用 Dionex 3000 RSLC UHPLC 系统串联 Q Exactive 质谱仪。使用 Proteome Discoverer 1.4 (version 1.4, Thermo Fisher Scientific, Palo Alto, CA, USA)匹配肽 MS/MS 谱;使用标准蛋白数据库(www.uniprot.org, UP000009136)与 Sequent 搜索算法对数据进行分析;利用 Venn 图分析多肽的相似性^[17]。

1.2.8 数据处理 所有试验均平行 3 次,采用 SPSS 23.0 分析软件对数据进行显著性分析,利用 Origin 2017 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 扁桃仁的营养成分分析

由图 1 可知,扁桃仁富含脂质(53.53%)与蛋白质(21.60%);扁桃油主要由油酸($C_{18:1}$)与亚油酸($C_{18:2}$)组成,不饱和脂肪酸含量较高(72.98%)。由表 1 可知,扁桃仁蛋白质含有 18 种氨基酸,必需氨基酸种类全、含量充足,且相互比例适当。由此可知,扁桃仁是一种营养组成全面,富含脂质和蛋白质的优质坚果资源。

2.2 贮藏条件对扁桃仁蛋白质理化特性影响

蛋白质分子中的巯基和二硫键对其结构和功能特性

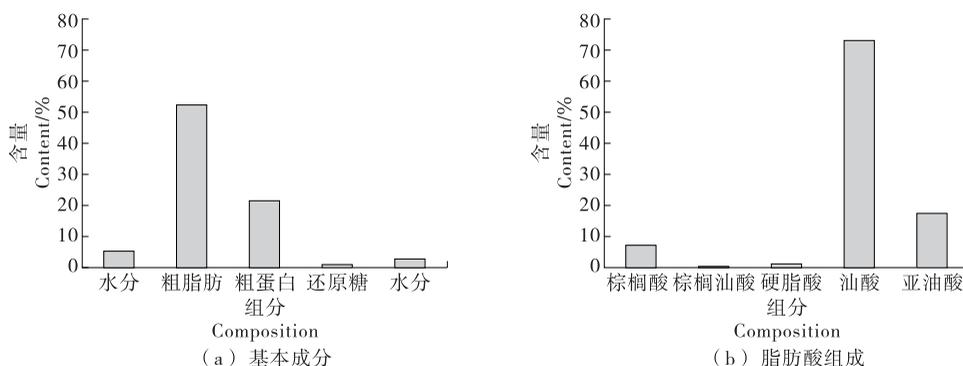


图 1 扁桃仁的基本成分及其脂肪酸组成

Figure 1 Essential ingredients and fatty acid composition of almond kernel

表 1 扁桃仁蛋白质的氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of almond protein

氨基酸	含量/%	氨基酸	含量/%
天冬氨酸	5.133±0.124	异亮氨酸	2.010±0.216
苏氨酸	1.731±0.215	亮氨酸	2.868±0.163
丝氨酸	2.274±0.132	酪氨酸	4.453±0.115
谷氨酸	11.573±0.255	苯丙氨酸	4.762±0.271
甘氨酸	2.282±0.104	赖氨酸	2.229±0.316
丙氨酸	2.802±0.182	组氨酸	1.930±0.228
半胱氨酸	3.829±0.205	精氨酸	4.545±0.329
缬氨酸	3.862±0.137	脯氨酸	24.360±0.177
甲硫氨酸	1.146±0.192		

均有影响,如蛋白质的凝胶性、界面行为和消化性能等^[18]。如图 2(a)~(d)所示,不同贮藏条件下 API 游离巯基和二硫键的含量不同。随着贮藏时间的延长,所有样品的巯基含量均显著降低,对照组(储存 0 d)的巯基含量为 20.64 μmol/g,而非真空包装于 35 °C 贮藏 9 个月其巯基含量降低了 60.7%。结果表明较高的贮藏温度可导致 API 的巯基含量显著降低。而贮藏期间,API 的二硫键含量变化趋势与巯基相反。随着贮藏时间的延长,二硫键含量从 11.32 μmol/g 增加到 30.21 μmol/g。这可能是贮藏过程中的氧气、光以及脂质氧化会诱导扁桃仁中蛋白质的氧化变性,而蛋白质变性和二硫键的形成都可能导致巯基含量的减少。

蛋白质氧化的另一个重要变化是羰基(包括醛基和酮基)的形成。氨基酸侧链的直接氧化、肽链的裂解、糖的还原或与非蛋白质羰基化合物的结合均可产生羰基^[18]。如图 2(e)和(f)所示,对样品品的羰基含量为 0.11 μmol/g,随着贮藏时间的延长,所有样品的羰基值急剧增加(P<0.05)。另外,相同的贮藏时间下,不同的贮藏温度也会引起羰基值的显著差异,且羰基值与贮藏温度呈正相关。刘宝华等^[19]研究大豆分离蛋白质在贮藏期的变化,结果表明随贮藏时间的延长,蛋白质羰基值逐渐

增加,与试验的变化趋势相同。

蛋白质分子的表面疏水性可以反映其表面疏水基团的相对含量,是维持蛋白质结构的重要特性^[18]。如图 2(g)和(h)所示,随着贮藏时间的延长,表面疏水性呈明显的上升趋势。真空包装处理的扁桃仁在 35 °C 贮藏 9 个月后,API 表面疏水性变化最为显著,从 3 050 增加到 8 142。这可能是由于:扁桃仁贮藏期间,外部因素会诱导蛋白质氧化,导致其构象发生变化。随着氧化程度的增加,API 分子逐渐展开,其内部疏水基团暴露,导致表面疏水性增加。

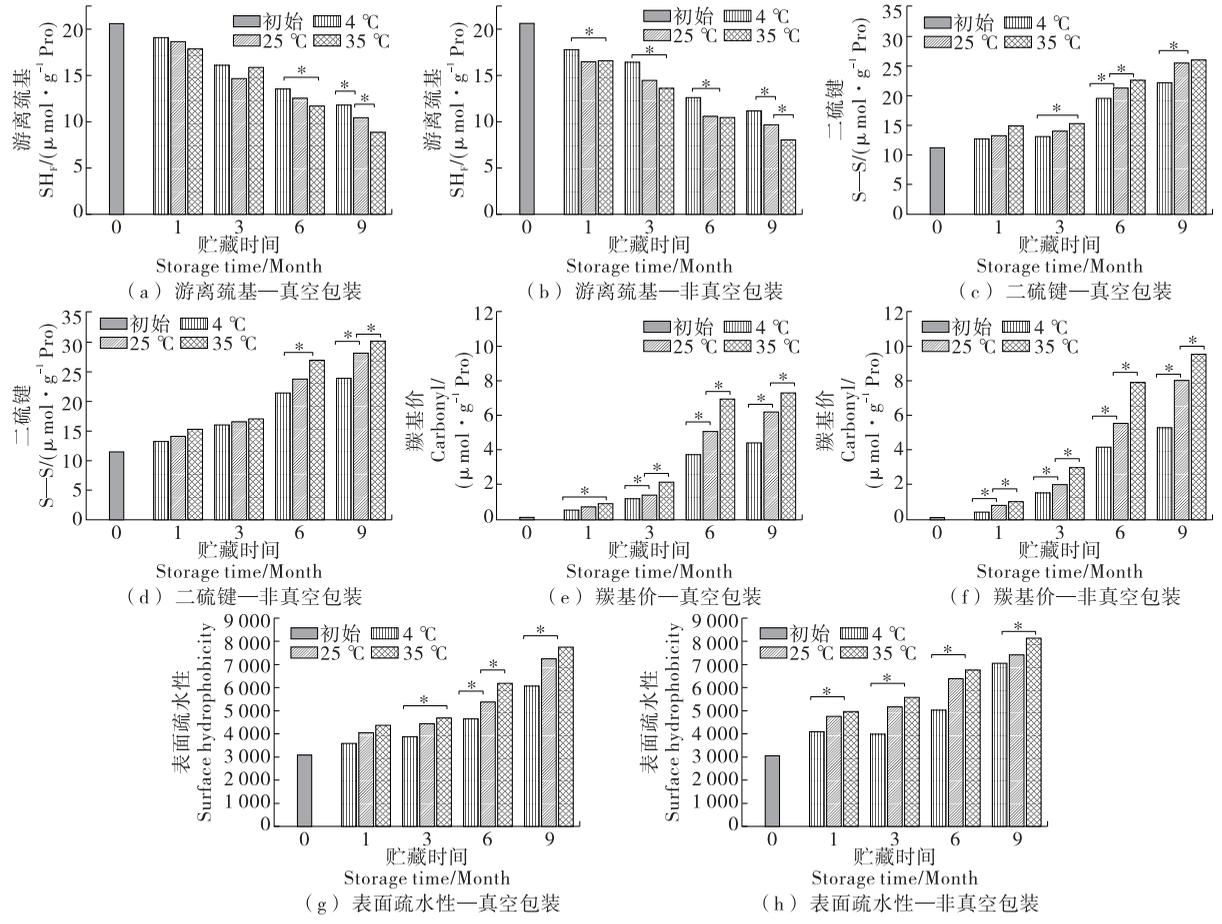
2.3 贮藏条件对扁桃仁蛋白质结构特性的影响

2.3.1 二级结构 试验通过蛋白质二级结构的变化考察不同贮藏条件下 API 的氧化程度。由表 2 可知,随着贮藏时间的延长,β-折叠和无规则卷曲的含量逐渐增加,而 α-螺旋和 β-转角含量降低。非真空条件下(35 °C)贮藏 9 个月后,API 的 α-螺旋含量从 31.4%降低到 19.1%,β-折叠含量从 30.1%增加到 43.5%,β-转角含量从 12.1%降低到 2.5%,无规则卷曲从 26.5%增加到 34.9%。比较两种包装条件下的贮藏样品,发现在真空包装条件下,API 二级结构含量的变化略低于非真空包装组。吴伟等^[20]研究发现贮藏过程中大米蛋白质的无序结构逐渐增加,二级结构稳定性逐渐降低。

2.3.2 SDS-PAGE 图 3 显示了 API 在不同贮藏条件下的电泳图谱,初始 API 的分子量主要集中分布在 35~40 kDa 和 10~15 kDa,随贮藏时间的延长,在 15 kDa 和 35~40 kDa 左右的主要蛋白带逐渐消失或消失,而在 50~70 kDa 的蛋白带则明显增厚;尤其是贮藏超过 6 个月,在泳道的顶部出现条带。随着贮藏时间的延长,蛋白质的迁移率逐渐降低,可能是由于过氧自由基蛋白的氧化导致了 API 分子中的共价交联,形成高分子量聚集体。同时,蛋白质氧化的加深也将导致某些蛋白质分子的降解,从而在低分子量区域产生离散的条带。

2.4 贮藏条件对扁桃仁蛋白质功能特性的影响

如图 4(a)和(b)所示,随着贮藏时间的延长,API 的



* 表示在 0.1 水平上显著

图 2 贮藏条件对 API 游离巯基、二硫键、羰基价、表面疏水性的影响

Figure 2 Effect of storage condition on the sulfhydryl content, the disulfide bond content, the carbonyl value, the surface hydrophobicity of API

表 2 贮藏期间 API 二级结构的变化

Table 2 Changes in API secondary structure during storage

时间/月	包装方式	温度/°C	α-螺旋/%	β-折叠/%	β-转角/%	无规则卷曲/%	时间/月	包装方式	温度/°C	α-螺旋/%	β-折叠/%	β-转角/%	无规则卷曲/%
0	—	—	31.4	30.0	12.1	26.5	6	真空包装	4	28.1	33.3	10.0	28.6
	真空包装	4	29.8	30.1	12.6	27.5		非真空包装	25	26.4	35.9	8.6	29.1
		25	30.5	32.1	11.0	26.4			35	26.9	38.3	5.9	28.9
1		4	29.3	30.8	12.7	27.2			4	28.1	35.3	8.4	28.2
		非真空包装	4	30.9	31.6	11.1	26.4			25	24.1	37.9	8.1
	25		29.0	31.4	13.1	26.5		35	22.7	38.6	8.5	30.2	
	35		29.3	32.2	11.7	26.8		9	真空包装	4	24.1	35.6	11.0
	真空包装	4	28.3	34.4	10.6	26.7			25	22.5	39.5	8.7	29.3
		25	27.1	33.6	11.7	27.6			35	21.9	40.5	5.7	31.9
3		4	26.8	33.9	12.4	26.9			非真空包装	4	22.1	40.1	7.2
	非真空包装	25	26.7	35.4	9.2	28.7		25		20.2	41.7	5.6	32.5
		35	26.3	34.6	11.6	27.5		35		19.1	43.5	2.5	34.9

溶解度明显降低。非真空包装、35 °C 贮藏 9 个月后,其溶解度降低了 85.3%。贮藏期间 API 溶解度降低的主要原因有两个:① 贮藏过程中蛋白质氧化导致蛋白质分子之间的交联,形成较大分子量的聚集体,最终导致 API 溶解度降低;② API 的表面疏水性在贮藏过程中增强,并且暴露的疏水基团可能通过疏水性相互作用聚集,导致溶解度降低。何钟瑜等^[21]研究发现蛋黄在不同温度下贮藏后,溶解度均发生下降,并认为这可能是蛋白质氧化所致。

如图 4(c)~(f) 所示,随贮藏时间的延长,API 的起泡能力与泡沫半衰期逐渐降低。API 起泡特性在贮藏期间发生变化可能是由于随着 API 氧化程度的加深,不断暴露的疏水基团形成不可溶的聚集体,改变了蛋白质分子的表面张力和气-液界面的稳定性,最终导致其起泡

能力与泡沫稳定性显著下降^[22]。另外,有研究^[23]表明蛋白质氧化会导致其溶解性和结构稳定性下降,进而影响蛋白质的起泡特性,该结果与 API 分子量、溶解性等变化趋势相符。

2.5 贮藏条件对扁桃蛋白消化特性的影响

2.5.1 消化率 贮藏引起的蛋白质氧化可能导致一系列氨基酸的丢失和变性,可能导致 API 及相关产品的营养价值显著下降。因此,通过体外模拟胃消化试验研究了不同贮藏条件处理的 API 消化特性(图 5),研究发现,不同贮藏条件处理 API 经胃蛋白酶酶解后,体外消化率表现出显著差异($P < 0.05$)。3 个温度下贮藏 9 个月后,API 的水解度显著降低,而较高的温度导致水解度的降低更为显著。这可能是较高的温度和较长的贮藏时间导致

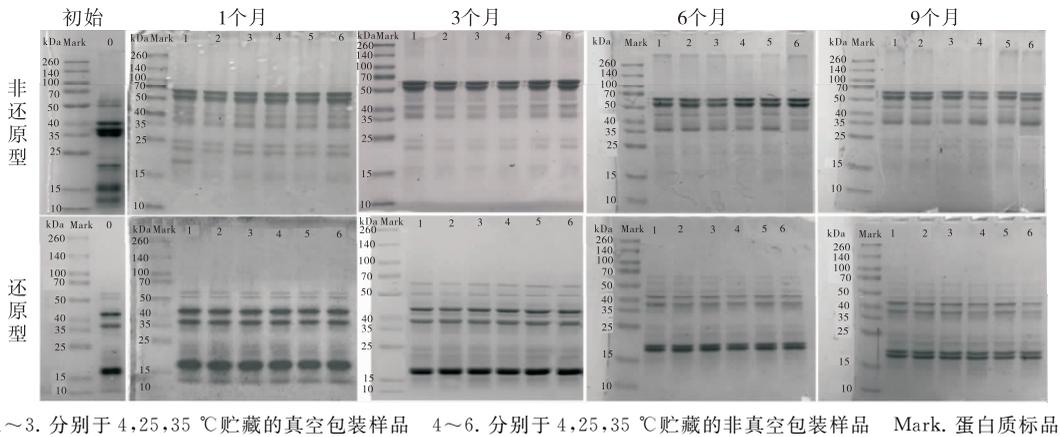


图 3 不同贮藏条件下扁桃蛋白的 SDS-PAGE 图
Figure 3 SDS-PAGE of API stored under different conditions

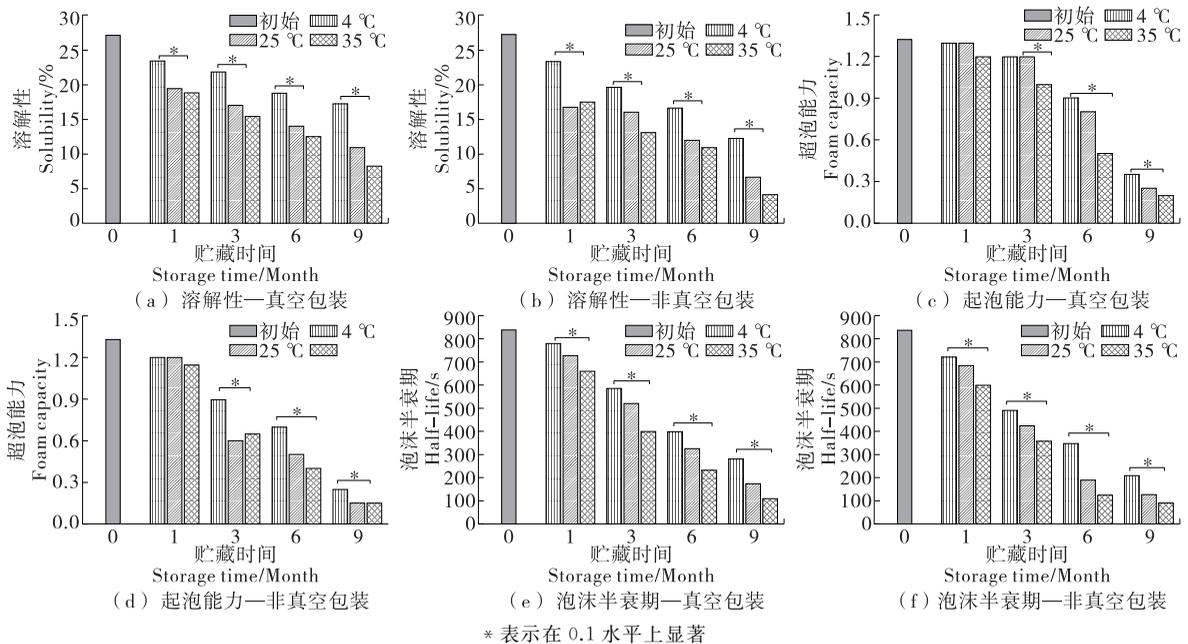


图 4 贮藏条件对 API 溶解性、起泡能力、泡沫半衰期的影响
Figure 4 Effect of storage conditions on API solubility, foam capability, foam half-life

API 氧化,形成共价交联的氧化聚集体,掩盖了 API 胃蛋白酶的作用部位,从而减慢了胃蛋白酶的消化过程并抑制了 API 的消化。同时,这与蛋白质氧化晚期阶段聚集体的形成有关,一方面抵消了蛋白质结构展开的作用,另一方面,氨基酸的损失也影响了酶促水解的速率。此外,已有研究^[24]表明二级结构的含量会影响蛋白质的体外消化率, α -螺旋的含量越高,蛋白质的消化越容易,而 β -折叠的含量越高,则抑制蛋白质消化。何莉媛等^[25]研究也发现

贮藏期间米糠蛋白的消化率随贮藏时间逐渐降低。

2.5.2 消化产物分析 基于 MS 对 API 消化产物分子量分析,以进一步评估在不同贮藏条件长期贮藏后扁桃仁的蛋白质消化率的差异。如图 6 所示,API 消化产物的分子量主要集中在 3 000 Da 以下,贮藏 9 个月后,API 消化产物分子量增大。这也证实了水解度的结果,该水解会抑制 API 的消化。图 7 显示了初始样品及分别在 4, 25, 35 °C 真空包装的样品贮藏 9 个月后经胃蛋白酶处理

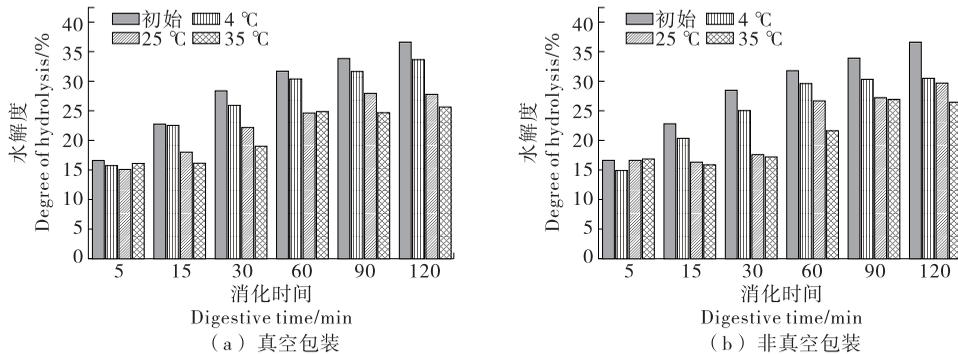


图 5 贮藏条件对 API 消化率的影响

Figure 5 Effect of storage condition on hydrolysis degree of API

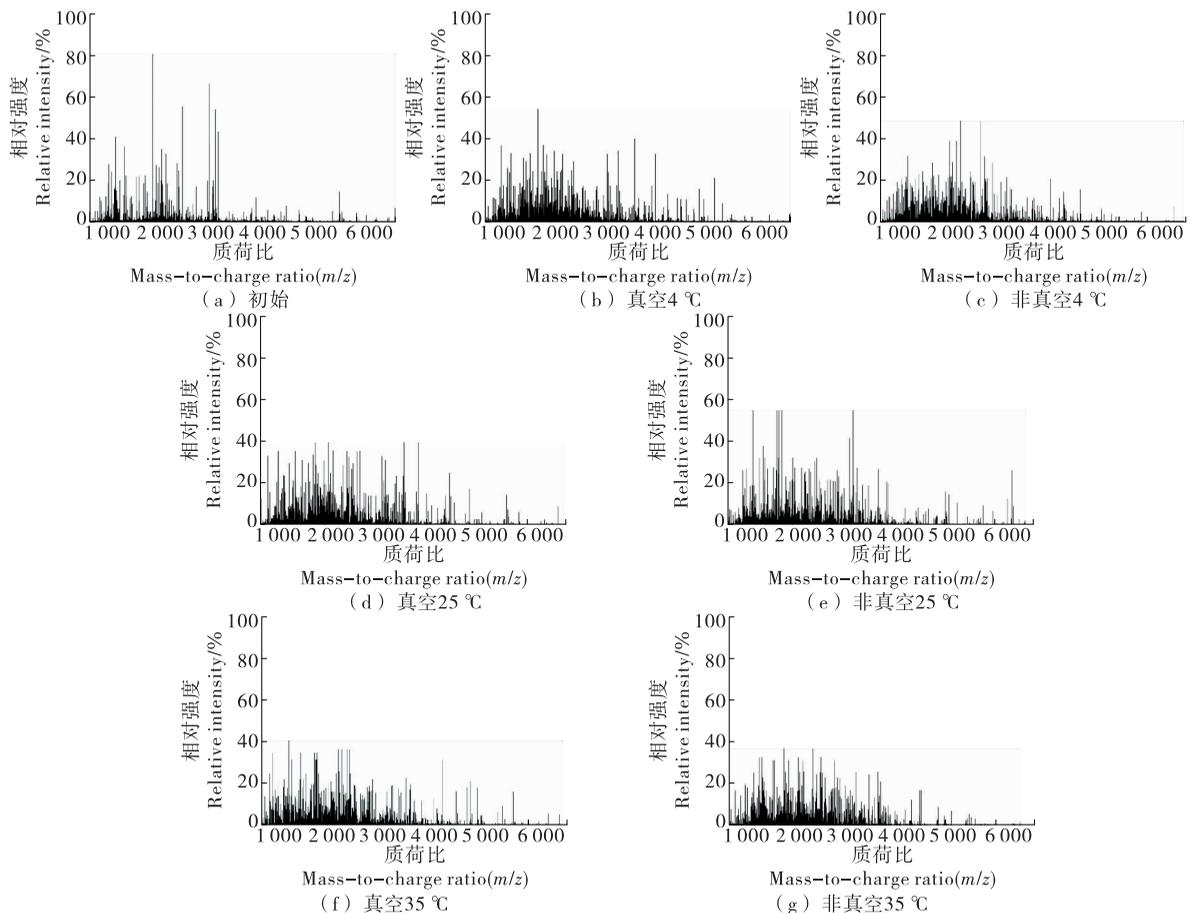


图 6 不同贮藏条件下的 API 消化产物的肽指纹图谱

Figure 6 Mass fingerprint of digested products of API stored under different conditions

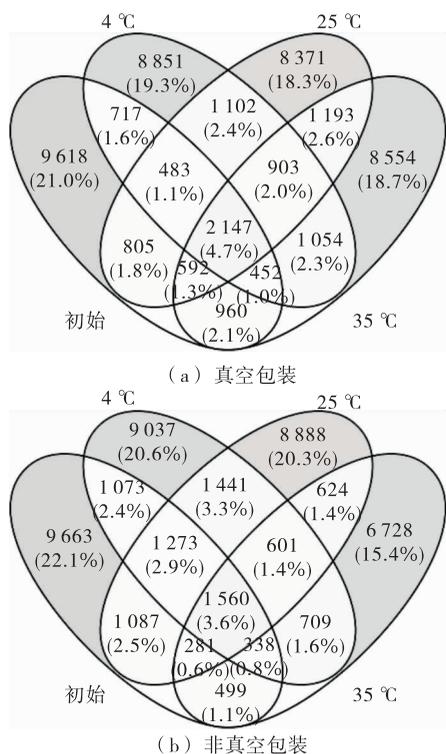


图 7 不同贮藏条件下 API 肽段韦恩图

Figure 7 Venn diagrams of peptides obtained from API stored under different conditions

得到的独有肽段数,分别为 9 618,8 851,8 354,8 554,其中有 2 147 个共有肽段。初始样品与非真空包装在 4, 25,35 °C 贮藏 9 个月后的样品,分别具有 9 663,9 037, 8 888,6 728 个独有肽段。此外,非真空包装的扁桃仁于 35 °C 贮藏 9 个月后,API 消化产物的肽段数量从 13 096 急剧减少至 8 662,这是由于蛋白质的消化率越高,独有肽段的数量越多,该结果与水解度的结果一致。

3 结论

通过探讨扁桃仁分离蛋白在不同贮藏温度、包装方式以及贮藏时间下的理化指标、结构与功能特性、消化特性变化来探究其贮藏特性,结果表明扁桃仁分离蛋白在贮藏期间结构特性发生改变,进而影响其功能特性与消化特性。因此,在扁桃的加工、贮运过程中,应尽量避免扁桃仁蛋白质暴露在剧烈环境条件中,防止蛋白质品质下降造成资源流失。后续将进一步探究扁桃仁蛋白质在贮藏期间的品质变化规律与机制。

参考文献

[1] 李芳,孔黎明,杨清香,等. 巴旦杏蛋白饮料的工艺优化及其稳定性研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(7): 786-789.
 [2] 张萍,申德华,郭春会,等. 扁桃种仁中维生素 E 的高效液相色谱法测定[J]. 食品科学, 2004(1): 142-144.
 [3] 张思思. 扁桃仁蛋白特性及多肽的功能活性研究[D]. 晋中:

山西农业大学, 2014: 2-3.

[4] HOUSTON M C. The role of nutrition and nutraceutical supplements in the treatment of hypertension[J]. Clinical Practice, 2013, 10(2): 209-229.
 [5] MOHAMMADIFARD N, SALEHI-ABARGOUEI A, SALAS-SALVADO J, et al. The effect of tree nut, peanut, and soy nut consumption on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2015, 101(5): 966-982.
 [6] CHRISTOPOULOS M V, TSANTILI E. Effects of temperature and packaging atmosphere on total antioxidants and colour of walnut (*Juglans regia* L.) kernels during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 131: 49-57.
 [7] RAISI M, GHORBANI M, SADEGHI MAHOONAK A, et al. Effect of storage atmosphere and temperature on the oxidative stability of almond kernels during long term storage[J]. Journal of Stored Products Research, 2015, 62: 16-21.
 [8] JENSEN P N, SRENSSEN G, ENGELSEN S B, et al. Evaluation of quality changes in walnut kernels (*Juglans regia* L.) by Vis/NIR spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 49(12): 5 790-5 796.
 [9] LIU Qian, LU Yan, HAN Jian-chun, et al. Structure-modification by moderate oxidation in hydroxyl radical-generating systems promote the emulsifying properties of soy protein isolate[J]. Food Structure, 2015, 6: 21-28.
 [10] ARZENI C, PEREZ O E, PILOSO F A M R. Functionality of egg white proteins as affected by high intensity ultrasound[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 29(2): 308-316.
 [11] GANHAO R, MORCUENDE D, ESTEVEZ M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 402-409.
 [12] MORITZ L, SANTANU D, STEPHEN H, et al. The impact of pH, salt concentration and heat on digestibility and amino acid modification in egg white protein[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 38: 42-48.
 [13] QU Wen-juan, ZHANG Xin-xin, WANG Zhi-ping, et al. Structure and functional characteristics of rapeseed protein isolate-dextran conjugates[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 82: 329-337.
 [14] 胡静. 蛋白质聚集状态影响蛋白质/多糖静电复合及其食品功能特性研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2019: 18.
 [15] TOOMER O T, DO A, PEREIRA M, et al. Effect of simulated gastric and intestinal digestion on temporal stability and immunoreactivity of peanut, almond, and pine nut protein allergens[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(24): 5 903-5 913.
 [16] NIELSEN P M, PETERSEN D, DAMBMANN C. Improved method for determining food protein degree of hydrolysis[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(5): 642-646.

(下转第 146 页)

表 5 不同走向晾房葡萄干感官指标检验表

Table 5 Different directions to dry raisins sensory index test table

晾房走向	晾房编号	果粒均匀度/%	绿品率/%	气味	口感
东西	1	86	33	无异味	正常
	2	84	31	无异味	正常
南北	1	86	26	无异味	正常
	2	80	22	无异味	正常
东南	1	85	27	无异味	正常
	2	81	31	无异味	正常
西南	1	86	35	无异味	正常
	2	88	33	无异味	正常

(3) 4 种不同走向的晾房虽然均匀度与色泽度情况各不相同,但是其风味与品味均正常。

3 结论

比较了 3 种不同材料建造的晾房及其不同走向下其无核白葡萄的干燥速率、成品绿色率以及对干燥成品的糖度和维生素 C 含量,以及葡萄的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值及 R 、 G 、 B 值,结果表明,以砖结构建造的晾房在西南走向方位时,干燥时间为 24 d,绿品率为 32%,糖度为 721.3 mg/g,维生素 C 含量为 7.84 mg/100 g,效果显著优于其他几组晾房,为最佳干燥晾房。后续还需对不同品种的葡萄进行干燥试验研究,建立一个更加完整、广泛的葡萄干燥技术数据库。

参考文献

[1] 古丽加汗·克热木, 阿里木·阿布里孜, 吐丝娜依·吐尔洪, 等. 不同干燥方式下葡萄品质的比较[J]. 黑龙江农业科学, 2017(9): 104-109.

[17] TAGLIAZUCCHI D, MARTINI S, SHAMSIA S, et al. Biological activities and peptidomic profile of in vitro-digested cow, camel, goat and sheep milk[J]. International Dairy Journal, 2018, 81: 19-27.

[18] WANG Jin-mei, XIA Ning, YANG Xiao-quan, et al. Adsorption and dilatational rheology of heat-treated soy protein at the oil-water interface; Relationship to structural properties[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(12): 3 302-3 310.

[19] 刘宝华, 刘胜因, 田翔, 等. 储藏时间对大豆分离蛋白结构与凝胶性质的影响[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(12): 36-41.

[20] 吴伟, 吴晓娟. 籼米中嘉早 17 储藏过程中蛋白质氧化程度及结构的变化[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(10): 104-109.

[21] 何钟瑜, 霍银强, 汤尚文, 等. 储藏温度对鸡蛋蛋黄乳化性

[2] 李维杰, 宋萍, 李先明, 等. 葡萄的真空冷冻干燥工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(2): 27-29, 51.

[3] 董艳华. 无核白葡萄干燥过程特性及其变色机理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015: 4-6.

[4] 王强, 邓朝芳, 任彦荣, 等. 无核紫葡萄干燥特性及其总酚含量变化研究[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 62-66.

[5] PANGAVHANE D R, SAWHNEY R L. Review of research and development work on solar dryers for grape drying[J]. Energy Conversion & Management, 2002, 43(1): 45-61.

[6] 雷静, 王婷, 韩琛, 等. 不同干燥方法对无核白葡萄干品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(2): 254-259.

[7] 孟阳, 刘峰娟, 王玉红, 等. 热风干燥温度对无核白葡萄干品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 204-207.

[8] 谢辉, 张雯, 伍新宇, 等. 新疆葡萄干生产研究现状及展望[J]. 北方园艺, 2015(21): 182-184.

[9] 白竣文. 无核白葡萄干燥动力学及防褐变机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 3-4.

[10] 汪政富, 李玲玲, 胡小松, 等. 两种不同晾房中无核白葡萄太阳能干燥特性[J]. 食品工业科技, 2008(12): 82-84.

[11] 汪政富, 李玲玲, 胡小松, 等. 两种不同晾房中无核白葡萄薄层干燥的数学模型[J]. 农机化研究, 2008(5): 28-31.

[12] 赵永忠, 孙琪. 一种葡萄干晾房: 中国, 205040628U[P]. 2016-02-24.

[13] 谢锋云. 基于 RGB 法的葡萄干颜色分选[J]. 华东交通大学学报, 2004, 21(4): 72-74.

[14] 刘小英, 何东健, 张健. 葡萄干彩色图像的背景分割研究[J]. 农机化研究, 2006(6): 73-75.

[15] 李俊伟. 基于机器视觉技术的新疆鲜葡萄及葡萄干品质分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 12-20.

[16] 刘小英, 秦振涛, 杨蜀秦. 基于稀疏表示的葡萄干品质分级[J]. 苏农业科学, 2016, 44(8): 421-423.

[17] 刘小英. 基于图像分析的葡萄干分级技术研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2006: 7-15.

[18] 的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 147-152, 109.

[22] 蔡勇建. 米糠贮藏和稳定化过程中米糠蛋白结构和功能性物质变化的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016: 34-35.

[23] KHAN S H, BUTT M S, SHARIF M K, et al. Functional properties of protein isolates extracted from stabilized rice bran by microwave, dry heat, and parboiling[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(6): 2 416-2 420.

[24] PENG Quan-hui, KHAN N, WANG Zhi-sheng, et al. Relationship of feeds protein structural makeup in common Prairie feeds with protein solubility, in situ ruminal degradation and intestinal digestibility[J]. Animal Feed Science & Technology, 2014, 194: 58-70.

[25] 何莉媛, 吴伟, 吴晓娟, 等. 米糠贮藏时间对米糠蛋白体外胃蛋白酶消化性质及其消化产物抗氧化性的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(11): 70-74.

(上接第 108 页)