

不同干制方法 对金丝小枣中糖类物质的影响

丁胜华¹,王蓉蓉²,李高阳¹,吕慧英¹,肖 轲¹,单 杨^{1,*}
(1.湖南省农业科学院,农产品加工研究所,湖南长沙 410125;
2.湖南农业大学,食品科学技术学院,湖南长沙 410128)

摘 要:本文分别采用热风干燥法、日晒法和微波干燥法对金丝小枣进行干制,研究以上三种方法对红枣中可溶性糖、果胶含量及果胶分子量分布的影响。结果表明:与新鲜枣果相比,所有干制处理均导致山梨醇和蔗糖含量显著降低($p < 0.05$),其中微波和日晒处理枣果的蔗糖保留率比热风处理组高,但其果糖与葡萄糖含量低于热风处理组。干制处理导致枣果细胞壁、水溶性果胶和溶于 Na_2CO_3 型果胶含量显著下降($p < 0.05$),而其螯合性果胶含量显著增加($p < 0.05$)。干制导致枣果果胶分子量显现不同趋势的变化。水溶性果胶组分:热风 70 ℃或日光晾晒处理均导致高分子端组分的减少,热风 50 ℃处理其分子量分布最为集中;溶于 Na_2CO_3 型果胶组分:干制导致高分子端果胶组分的增加,低分子端组分则发生降解。
关键词:干制,枣果,可溶性糖,果胶,分子量分布

Effect of different drying methods on the saccharides of jujube fruits cv *jinsixiaozao*

DING Sheng-hua¹, WANG Rong-rong², LI Gao-yang¹, LV Hui-ying¹, XIAO Ke¹, SHAN Yang^{1,*}
(1. Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China;
2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The effects of different drying methods (air drying, sunlight drying, and microwave drying) on the soluble sugars content, pectin fraction content, and pectin molecular weight distribution of jujube fruits were determined. The results showed that content of sucrose and sorbitol of jujube fruits was significantly decreased after dehydration. The retention rate of sucrose of jujube fruits dried by microwave and sunlight drying was significantly higher than that of air dried jujube fruits, however, the retention rate of glucose and fructose microwave or sunlight dried jujube fruits was lower than that of air dried jujube fruits. Dehydration of jujube fruit cause a significant decrease of cell wall materials, water soluble pectin, and Na_2CO_3 soluble pectin content while introduced a significant increase of chelate soluble pectin content of jujube fruits. Air drying at 70 ℃ or sunlight drying could led to a more serious depolymerization of high molecular weight segment in WSP and AD at 50 ℃ treatment of jujube fruit introduced a more centralized molecular weight distribution of WSP. However, dehydration of jujube fruits could led to an increase of high molecular weight segment in SSP while introduced a decrease of low molecular weight segment in SSP.

Key words: drying; jujube; soluble sugars; pectin; molecular weight distribution
中图分类号: TS255 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2016)15-0129-05
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.15.017

红枣 (*Zizyphus jujuba* dates) 是鼠李科枣属植物枣树的果实。枣果具有很高的营养与功效, 是一种天然的药食两用同源的食品。国内外对枣果化学成分的研究表明, 枣果含有丰富的糖类、氨基酸、有机酸、维生素 C、矿物质、酚类化合物、萜类化合物和环

核苷酸等^[1]。我国具有丰富的枣资源, 但由于红枣集中上市又极易腐败, 易失去商品价值, 每年约 20%~30% 红枣因滞销而腐烂掉, 损失严重。干制作为其传统加工方法, 能够降低水分活度, 防止微生物生长和繁

收稿日期: 2016-01-27
作者简介: 丁胜华 (1985-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事果蔬加工技术研究, E-mail: shhding@hotmail.com。
* 通讯作者: 单杨 (1963-), 男, 博士, 研究员, 主要从事果蔬加工理论与技术研究, E-mail: sy6302@sohu.com。
基金项目: 国家自然科学基金 (31501543)。

殖,降低内部生化反应速率,从而延长货架期,达到贮藏的目的。它既是一个降低水分的物理单元操作,也是发生复杂反应的生化过程。Yi 等^[2]研究枣果的薄层干燥特性并建立其干燥模型,发现 Weibull 分布模型对于预测实验结果优于其它薄层干燥模型。Wang 等^[3]研究了不同干燥方式对金丝小枣抗氧化能力、多酚、环核苷酸以及挥发性成分的影响。金丝小枣核小皮薄,肉质细腻,种植适应性强,是一种鲜食加工兼用品种,在北京、河北、山东等省市广泛种植。关于枣果干制干燥动力学以及品质特性变化已有较多报道,但关于金丝小枣干制过程中可溶性糖和果胶多糖的变化规律的报道还较少。因此,本文以金丝小枣为研究对象,研究不同干制方法对可溶性糖、果胶多糖含量以及果胶多糖的分子量分布的影响,旨在为金丝小枣的干制加工及其资源的高效利用提供基础资料和参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金丝小枣 九月下旬于北京市门头沟区斋堂镇王龙口村采集,全红果 50 kg,选择大小均一,无机械伤和无病虫害的全红枣果作为实验原料。

乙二酸四乙酸钙盐、葡萄糖、果糖、山梨醇和蔗糖等,为色谱纯 购自 Sigma-Aldrich 上海贸易有限公司;葡聚糖系列标品,色谱纯 购自昭和电工科学仪器有限公司;乙醇、甲醇、氯仿、丙酮、二甲基亚砜、二乙胺四乙酸、碳酸钠、硼氢化钠、醋酸钠、亚硝酸钠分析纯 购自北京化学试剂厂。

紫外分光光度计(T6) 北京普析通用有限责任公司;冷冻干燥机(LGJ-25C) 北京四环科学仪器厂;高速冷冻离心机(CR21GIII) 日本 HITACHI 公司;高效液相色谱(K1001) 德国 Knauer 仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 枣果干燥实验

1.2.1.1 热风干制(AD)实验 将挑选、清洗的金丝小枣(1 kg)平铺于电热恒温干制箱中,风速为 0.75 m/s,分别设置热风干制温度为 50 ℃(AD50)、60 ℃(AD60)和 70 ℃(AD70),枣果的干制终点的含水量为 18.66% ± 0.03%。

1.2.1.2 日晒(SD)实验 将挑选、清洗的金丝小枣(1 kg)平铺于实验托盘中,置于阳台上,风干约 12 d。枣果的最终含水量为 20.10% ± 0.20%。

1.2.1.3 微波干制(MD)实验 将挑选、清洗的金丝小枣(500 g)平铺于塑料容器中,设置微波功率为 150 W,干制的水分终点为 19.05% ± 0.41%。

1.2.2 可溶性糖的测定 将枣果于打浆机中打碎,称取 8 g 枣果,加 50 mL 蒸馏水常温下超声辅助提取 30 min,9000 × g 下离心 15 min,收集上清液,滤渣重复提取 1 次,合并滤液,过 0.45 μm 滤膜待测。蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇采用 HPLC 法进行测定^[4]。结果以毫克每克干重计(mg/g DW)。

1.2.3 细胞壁物质(CWM)的制备 取去核鲜枣 40 g 或干果 20 g 置于 200 mL 烧杯,根据枣果不同的水分

含量,加入 80% (v/v) 乙醇,然后将烧杯置于沸水浴,煮沸 20 min 以破坏细胞壁钝化酶,取出冷却后用 400 目滤布过滤,收集滤渣,重复上述步骤三次。滤渣残留物用 100 mL 90% 二甲基亚砜水溶液(9:1, v/v)在 4 ℃过夜除淀粉。滤渣加入 100 mL 氯仿甲醇溶液中(2:1, v/v)溶解 10 min,用丙酮洗涤直至样品变白,残留物即为 CWM,35 ℃烘干至恒重^[5]。结果以毫克每克干重计(mg/g DW)。

1.2.4 果胶组分的制备过程 参考 Sila 等^[6]的方法。CWM(1.0 g)加入 120 mL 去离子水,在 25 ℃振荡溶解 4 h,然后 400 目的尼龙纱布过滤,残渣重复加去离子水提取 2 次。收集滤液,用分子截流量为 3000 u 的透析膜透析 24 h 后定容。取部分果胶溶液经冻干后放入干燥器中备用,即为水溶性果胶(WSP)。残渣再用 120 mL 0.05 mol/L 的二乙胺四乙酸溶液(含 0.1 mol/L 的醋酸钠, pH = 6.5)在 25 ℃振荡溶解 4 h,按上述条件提取过滤两次,合并滤液,透析 24 h,后定容。取部分果胶溶液经冻干放入干燥器中备用,即为螯合溶质果胶(CSP)。滤渣再用 20 mL 50 mmol/L Na₂CO₃ 溶液(含 20 mmol/L NaBH₄) 在 25 ℃振荡溶解 4 h,按上述条件提取过滤两次,透析 24 h 后定容,取部分果胶溶液经冻干后放入干燥器中备用,即为溶于 Na₂CO₃ 果胶(SSP)。

1.2.5 果胶含量的测定 采用分光光度法,以半乳糖醛酸作为标准物质测定^[7],结果以毫克每 100 g 鲜重计(mg/100 g FW)。

1.2.6 果胶分子量的测定 按照 Guo 等^[8]的方法采用体积排阻色谱法(HPSEC)测定果胶分子量。将果胶溶液和标准品经过 0.45 μm 滤膜进行色谱分析,以不同分子量的葡聚糖标准品制作标准曲线。根据不同葡聚糖标品在 HPSEC 色谱图保留时间与其对应分子量的对数 lg(Mp)作出相应的标准曲线,样品按照上述方法测定其保留时间,然后根据保留时间计算峰位分子量。

1.3 数据统计与分析

采用 Origin 8.0 统计分析数据,结果以平均值 ± 标准差表示,进行单因素方差分析,采用 t 检验,当 $p < 0.05$,表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同干制方式对枣果中可溶性糖含量的影响

表 1 是不同干制方法对枣果中果糖、葡萄糖、山梨醇和蔗糖的影响。由表 1 可知,鲜枣经脱水处理后,其可溶性糖的含量发生了不同程度的变化。其中经热风干制处理(AD50、AD60 和 AD70)的枣果中果糖和葡萄糖的含量均显著升高($p < 0.05$);而经 MD 处理后,枣果中蔗糖与葡萄糖均显著降低($p < 0.05$),而果糖含量变化不显著($p > 0.05$)。干制后枣果的蔗糖含量均显著降低($p < 0.05$),且不同干制处理间枣果的蔗糖含量差异显著($p < 0.05$),其中经 AD50 处理的枣果中蔗糖含量最低,为 52.67 mg/g DW。蔗糖含量的减少可能与枣果中存在的蔗糖酶(SS)以及蔗糖转化酶(Ivr)有关。枣果经干制处理时,SS 和 Ivr 并未被立即钝化,枣果的细胞结构被破坏,SS 和 Ivr

表1 不同干制方法对枣果中果糖、葡萄糖、蔗糖和山梨醇含量的影响
Table 1 Fructose, glucose, and sucrose, and sorbitol profile of jujubes dehydrated by different drying methods

处理	可溶性糖含量 (mg/g DW)			
	果糖	葡萄糖	蔗糖	山梨醇
鲜枣	238.90 ± 3.65 ^b	228.19 ± 5.87 ^d	279.62 ± 9.21 ^a	7.86 ± 0.94 ^a
AD50	329.30 ± 7.50 ^a	325.47 ± 7.53 ^b	52.67 ± 1.08 ^e	4.52 ± 0.41 ^b
AD60	332.52 ± 20.49 ^a	315.99 ± 19.12 ^b	81.26 ± 4.81 ^d	2.83 ± 0.22 ^c
AD70	332.92 ± 1.98 ^a	345.87 ± 2.27 ^a	68.87 ± 1.26 ^f	0.44 ± 0.09 ^e
SD	221.62 ± 26.38 ^{bc}	272.58 ± 5.60 ^c	150.60 ± 3.70 ^b	0.11 ± 0.09 ^f
MD	219.20 ± 5.71 ^c	203.52 ± 7.50 ^e	132.44 ± 3.72 ^c	1.86 ± 0.01 ^d

注:同一类指标进行单因素方差分析多重比较,t 检验;表中不同字母表示有显著差异($p < 0.05$)。

和蔗糖接触机率增加,从而水解蔗糖生成葡萄糖和果糖,因此导致了枣果中蔗糖含量的降低,导致葡萄糖和果糖含量升高。而经 MD 处理的枣果,其蔗糖保留率比热风干制的高,葡萄糖和果糖的含量则分别比热风干制 (AD50、AD60 和 AD70) 含量低,其原因一方面是由于 MD 处理对枣果中酶类如蔗糖转化酶有钝化作用,蔗糖相对被水解得少,导致葡萄糖和果糖生成少;另一方面,MD 处理过程时,枣果中的还原糖和游离氨基酸等物质发生美拉德反应。枣果经不同干制方法脱水处理后,枣果中的山梨醇含量显著降低,含量最低的是经 SD 处理的枣果,其山梨醇含量为 0.11 mg/g DW。

2.2 不同干制方法对枣果中 CWM 的影响

鲜枣和经不同干制方法处理的枣果其 CWM 含量如图 1。鲜枣和干枣其 CWM 的含量范围为 115.32~151.73 mg/g DW。金丝小枣经干制后,其 CWM 含量显著下降($p < 0.05$),但干制方式对枣果中的 CWM 含量呈现不同影响。其中经 AD50 处理的枣果其 CWM 含量在干枣中最高,为 138.08 mg/g DW;而经 MD 处理的枣果其 CWM 含量最低,为 115.32 mg/g DW。采用不同 AD 温度 (50~70 ℃) 处理得到枣果其 CWM 含量之间差异不显著 ($p > 0.05$),但分别与 MD、SD 处理之间存在显著差异 ($p < 0.05$)。枣果在 SD 处理时,其温度较低,枣果中的聚半乳糖醛酸酶未被钝化,枣果 CWM 中的果胶可能在聚半乳糖醛酸酶作用下发生解聚,产生溶于水的小分子物质,从而导致 CWM 含量下降。而枣果在 MD 处理过程中,其温度较高,可能导致 CWM 中果胶物质发生 β -消除反应,从而发生导致枣果 CWM 含量下降。Garau 等^[9]研究干制温度对柑橘副产物理化特性的影响时发现,经干制后的柑橘副产物 CWM 的含量均显现降低趋势。

2.3 不同干制方法对枣果中 WSP、CSP 和 SSP 的影响

由图 2 可知,枣果经干制后各果胶组分含量均发生显著变化 ($p < 0.05$),其中 WSP 和 SSP 含量下降,而 CSP 含量上升。鲜枣其 WSP、CSP 和 SSP 含量分别为 682.16 mg/100 g FW、22.34 mg/100 g FW、387.79 mg/100 g FW;经干制后,WSP、CSP 和 SSP 含量范围分别为 556.70~634.61 mg/100 g FW、32.81~113.91 mg/100 g FW 和 147.72~215.43 mg/100 g FW。不同干制方法对枣果果胶各组分含量具有不同的影

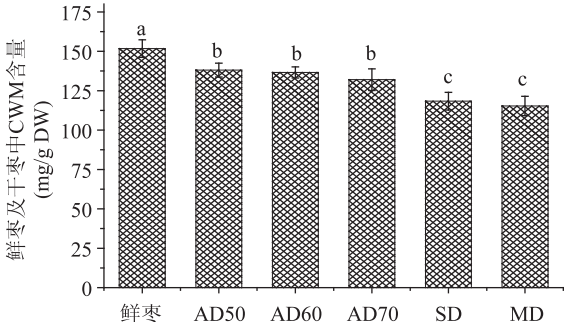


图1 不同干制方法对枣果中 CWM 含量的影响
Fig.1 CWM content of jujubes dehydrated by different drying methods

响,与 AD50、AD60 处理组相比,AD70、SD 或 MD 处理均导致 WSP 和 SSP 组分更严重的降解 (图 2)。AD60 处理组枣果的 WSP 含量最高,为 634.61 mg/100 g FW,AD50 和 AD60 处理组其 WSP 含量则差异不显著 ($p > 0.05$),而其余处理组 WSP 与 AD60 存在显著差异 ($p < 0.05$)。SSP 与 WSP 降解趋势呈现相似规律。与 WSP、SSP 不同,枣果经脱水处理后,与成熟枣果相比,各处理组枣果 CSP 含量均呈现增加趋势,且各处理组 (隐 AD50 和 SD 之间外) 间枣果 CSP 含量存在显著差异 ($p < 0.05$),其中 AD70 处理组含量最高,为 113.91 mg/100 g FW,显著高于其余干制处理组枣果中 CSP 含量 ($p < 0.05$)。Plat 等^[10]研究了胡萝卜经热烫与未经热烫处理干制后其果胶的变化,发现热烫组与未经热烫组其果胶含量比对照组含量显著下降 ($p < 0.05$),并且未经热烫组其果胶含量比热烫组更低,并且发现干制处理组出现了新的整合性果胶

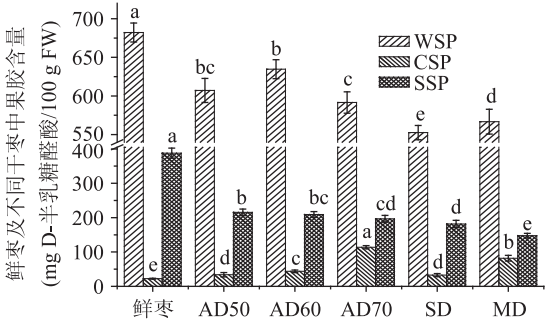


图2 不同干制方法对枣果中果胶含量的影响
Fig.2 Pectin content of jujubes dehydrated by different drying methods

组分。本文的实验结果与上述文献报道的结论相类似。当枣果被暴露于干制环境中,干制前期过程实质上是一个水分胁迫和温度胁迫的逆境过程,枣果依然是一个活体,进行着相关代谢。随着干制过程的进行,枣果的细胞结构被破坏,纤维素酶、聚半乳糖酸酶和相应底物接触发生催化水解的几率增大,从而导致纤维素和果胶分子链的缩短,导致可溶性物质的增加;另一方面,一般认为热处理富含果胶组分材料会发生 β -消除反应和酸水解,也会导致果胶物质的降解^[11]。而微波辐照物料时,因其偶极子转动和离子传导作用,物料中的极性分子和非极性分子电解质被快速反复极化,发生“取向”和“弛豫”状态,从而发生大量的摩擦、碰撞,产生“摩擦效应”,物料升温,大分子被降解。

2.4 不同干制方法枣果中果胶 Mw 分布的影响

图3为葡聚糖标准品的峰位分子量(M_p)与保留时间(RT)的关系图。从图中可知,葡聚糖的 $\lg(M_p)$ 与葡聚糖的保留时间呈现较好的线性关系,其线性方程为 $\lg(M_p) = 0.291RT + 9.195$, $R^2 = 0.992$ 。由于枣果的在干制过程中,其WSP、CSP和SSP均发生了相应的变化。图4是不同干制处理枣果中WSP、CSP和SSP的分子量分布信息图。从图4a可以看出,除AD50处理组外,对照组与其余干制处理组均出现两个色谱峰(色谱峰1和色谱峰2),其相应的 M_p 在表2中。与对照组相比,干制处理导致了高分子端组分向低分子端组分移动,而原来对照组低分子端发生降解,因此在干制过后,只剩下由高分子端组分降解生成的组分。不同干制处理也会对枣果的WSP组分造成不同影响,其中MD与SD处理其“色谱峰1”的响应值明显低于AD处理组;而且不同AD温度处理,其“色谱峰1”的响应值也不同,AD温度越高,“色谱峰1”的响应值越低。AD50处理干制,并未出现明显的“色谱峰2”,而AD60处理其色谱峰的峰型类似,但其出现了明显的“色谱峰2”;与AD60处理相比,AD70、SD、与MD处理都将导致“色谱峰2”向低分子端移动。这说明,高温处理或者低温处理均会导致WSP的降解,其中高温降解的原因可能是发生了 β -消除反应,从而导致分子量的降低;而在SD处理时,由于枣果中PG和果胶甲酯酶在此过程中并未钝化,使得枣果的WSP发生解聚,分子量降低。

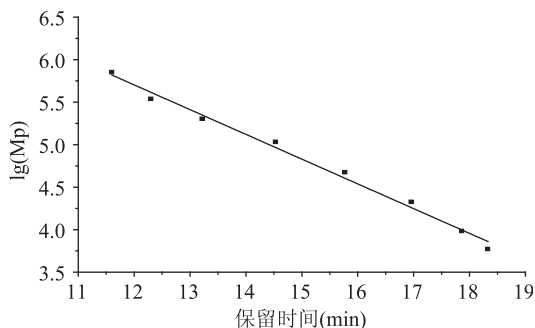


图3 葡聚糖标准品的峰位分子量与保留时间的关系图
Fig.3 Relationship between $\lg(M_p)$ and RT of glucan

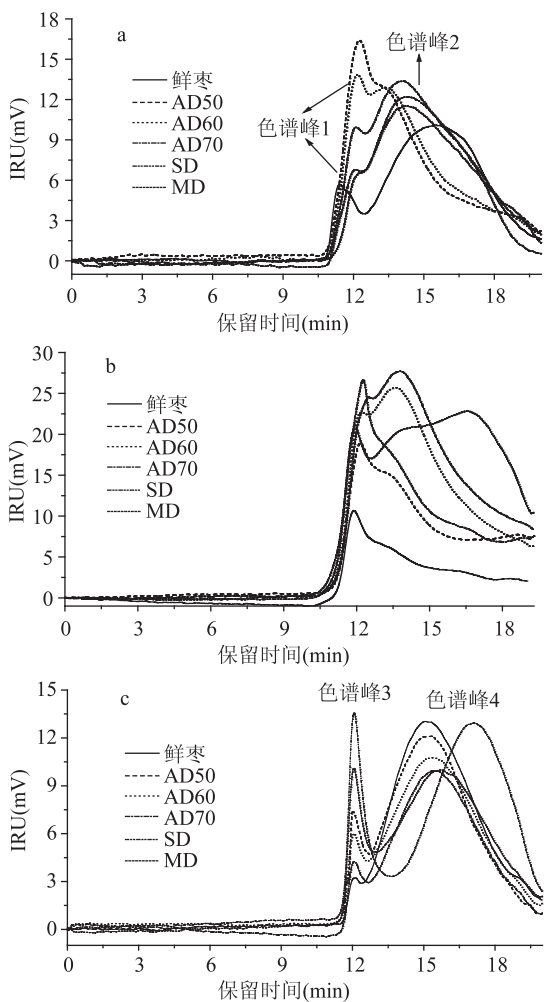


图4 不同干制方法对枣果中果胶组分分子量分布的影响
Fig.4 Mw distribution of pectins from jujubes dehydrated by different drying methods
注:(a) WSP;(b) CSP;(c) SSP。

图4b是对照组与不同干制处理组枣果CSP组分的HPSEC色谱图。从图4b可以看出,枣果经干制处理后,其CSP响应显著升高;其中对照组、AD50和SD处理其CSP只出现一个色谱峰,而AD60、AD70和MD处理组其CSP出现了两个明显的色谱峰,而且AD60与AD70处理组峰型相似,且AD70处理组响应更高,但其分子量分布更靠向低分子端。MD是各处理组分子量分布最宽的,低分子端出现强烈响应,表明MD处理组其CSP组分的分子量更小。从表2中可以看出,新鲜枣果CSP的 M_p 为568.59 ku,且显著高于其余处理组枣果CSP的 M_p ($p < 0.05$)。AD60与AD70处理分别出现一个较大的色谱峰,其 M_p 分别为453.97 ku和442.11 ku,并且差异显著 ($p < 0.05$)。这说明,处理温度越高,CSP色谱图向低分子端移动,表明高温更能引起CSP的降解。

图4c是对照组与不同干制处理的枣果SSP组分的HPSEC色谱图。从图4c可以看出,新鲜枣果与干枣中SSP组分均呈现两个色谱峰(色谱峰3和色谱峰4),这说明鲜枣和干枣SSP分别由两种不同分子量的果胶组分组成。其中“色谱峰3”峰型尖锐,RT小,出峰时间短,均为11.99 min左右,这说明“色谱

表2 不同干制方法的枣果中 WSP、CSP 和 SSP 的色谱峰保留时间及其峰位分子量
Table 2 RT and Mp of WSP, CSP, and SSP from jujubes dehydrated by different drying methods

处理	WSP		CSP		SSP	
	RT(min)	Mp(ku)	RT(min)	Mp(ku)	RT(min)	Mp(ku)
鲜样	11.434	737.43 ± 9.08 ^a	11.860	568.59 ± 4.318 ^a	11.996	506.02 ± 3.83 ^a
	15.490	48.67 ± 0.44 ^e			15.146	61.29 ± 0.38 ^b
AD50	12.155	454.89 ± 4.31 ^b	12.130	462.56 ± 3.07 ^c	12.008	502.14 ± 3.57 ^a
					15.146	61.31 ± 0.58 ^b
AD60	12.172	449.58 ± 3.19 ^b	12.158	453.97 ± 3.44 ^d	12.001	503.67 ± 7.65 ^a
	13.420	194.90 ± 3.69 ^d			15.368	52.86 ± 0.88 ^c
AD70	12.184	446.15 ± 6.77 ^b	12.198	442.11 ± 3.14 ^e	12.003	503.67 ± 7.15 ^a
	14.064	126.58 ± 0.96 ^e			15.460	49.67 ± 0.47 ^d
SD	12.168	451.09 ± 3.21 ^b	12.155	454.88 ± 4.31 ^{cd}	12.007	502.48 ± 4.40 ^a
	14.314	107.02 ± 0.56 ^f			17.075	16.83 ± 0.08 ^e
MD	12.352	398.58 ± 1.81 ^c	11.880	546.92 ± 3.63 ^b	12.005	502.98 ± 4.76 ^a
	14.305	107.71 ± 0.81 ^f			15.726	41.56 ± 0.20 ^e

峰3”所对应的组分经不同处理后,其 Mp 分子量并未发生变化,而只是含量上发生了变化;而“色谱峰4”出峰晚,RT 相对长,峰型较宽,出峰时间长,这说明“色谱峰4”所对应的组分随枣果经不同干制,其含量与 Mp 分子量均发生了变化。比较各干制处理组与对照组“色谱峰3”的峰高响应值,发现鲜枣经干制处理后,“色谱峰3”的响应值明显增大,但其 RT 并无变化,其响应值从高到低依次为 SD、MD、AD50、AD60、AD70 和对照组,即处理温度越低,响应值越高。这可能使由于干制处理破坏了枣果的细胞壁结构,使得原来不能被 Na₂CO₃ 溶液提取的 SSP 组分转化为可被 Na₂CO₃ 溶液提取。表 2 列出了对照组与不同干制处理的枣果 SSP 的 Mp 分布。从表 2 可知,对照组与各干制处理组其“色谱峰3”的 Mp 不存在显著差异($p > 0.05$),其 Mp 主要分布在 502.14 ~ 506.02 ku 之间。比较对照组与各干制处理枣果 SSP 中“色谱峰4”的出峰峰宽、峰高响应值以及 RT(表 2)发现:与对照组相比,除 AD50 处理外,其余各干制处理组其“色谱峰4”整体向低分子端移动,相应的 RT 也增大,因而其 Mp 显著降低($p < 0.05$)(表 2)。其中 SD 处理最为明显,其次是 MD 处理,其 Mp 分子量分别为 16.83 ku 与 41.56 ku。不同 AD 处理之间,枣果的“色谱峰4”的 Mp 之间也存在显著差异($p < 0.05$),且 AD 温度越高,“色谱峰4”的 Mp 越小,AD50、AD60 与 AD70 处理组枣果“色谱峰4”的 Mp 分别为 61.31、52.86、49.67 ku。

3 结论

与鲜枣相比,所有干制处理均导致山梨醇含量的降低;干制处理均导致枣果中蔗糖含量的显著下降($p < 0.05$),其中 MD 和 SD 处理蔗糖保留率比 AD 处理组高,但其果糖与葡萄糖含量低于 AD 处理组。干制处理导致枣果 CWM、WSP 和 SSP 含量显著下降($p < 0.05$)而其 CSP 含量显著增加($p < 0.05$);高温或低温处理均导致枣果中 CWM、WSP 和 SSP 含量的更严重的降低。

干制导致枣果果胶分子量显现不同趋势的变

化。WSP 组分:高温或低温处理均导致高分子端组分的减少,AD50 处理其分子量分布最为集中;SSP 组分:干制导致高分子端果胶组分的增加,低分子端则发生降解,并且高温或者低温都导致低分子端果胶更为严重的降解。

参考文献

[1] 丁胜华,王蓉蓉,吴继红,等.枣果实生物活性成分与生物活性的研究进展[J].现代食品科技,2016,32(5):331-350.
[2] Yi X K, Wu W F, Zhang Y Q, et al. Thin - layer drying characteristics and modeling of Chinese jujubes[J].Mathematical Problems in Engineering,2012,2012:1 - 18.
[3] Wang R R, Ding S H, Zhao D D, et al. Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits[J].Food Science and Biotechnology,2016,25(1):137 - 143.
[4] Liu F, Fu S, Bi X, et al. Physico - chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China[J].Food Chemistry,2013,138(1):396 - 405.
[5] Zhang F, Dong P, Feng L, et al. Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage [J]. Food and Bioprocess Technology,2012,5(8):3170 - 3180.
[6] Sila D N, Dounгла E, Smout C, et al. Pectin fraction interconversions: insight into understanding texture evolution of thermally processed carrots[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2006,54(22):8471 - 8479.
[7] Blumenkrantz N, Asboe - Hansen G. A new method for quantitative determination of two uronic acids [J]. Analytical Biochemistry,1973,54(2):484 - 489.
[8] Guo X F, Zhao W T, Pang X L, et al. Emulsion stabilizing properties of pectins extracted by high hydrostatic pressure, high-speed shearing homogenization and traditional thermal methods: A comparative study[J].Food Hydrocolloids,35:217 - 225.
[9] Garau M C, Simal S, Rosselló C, et al. Effect of air - drying

(下转第 153 页)

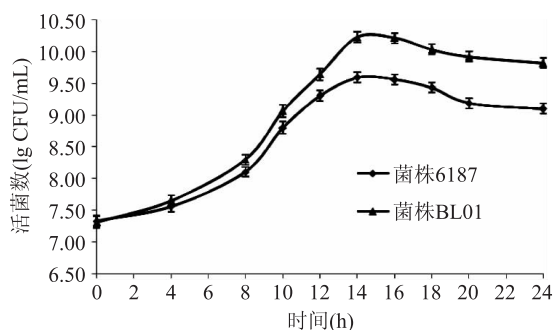


图5 菌株 BL01 与菌株 6187 的 7 L 罐发酵对比

Fig.5 CFU comparisons between the strain 6187 and strain BL01 in 7 L bioreactor

离纯化,高通量检测可快速筛选出优势菌株,很大程度上降低了筛选工作量,给育种工作者减轻了负荷。本文经高通量筛选方法获得的优势菌株,大大提高了发酵活菌数,经过传代实验证明其具有良好的稳定性,为之后的冻干、保存等环节打好坚实的基础。

参考文献

[1] 郝维善.人类肠道中的重要生理性细菌—双歧杆菌[J].中国微生态学杂志,1989,1(1):116-123.
 [2] 李俊洁,陈庆森.双歧杆菌调理和改善肠道相关疾病作用的研究进展[J].食品科学,2011,32(23):326-332.
 [3] 吕锡斌,何腊平,张汝娇,等.双歧杆菌生理功能研究进展[J].食品工业科技,2013,34(16):353-358.
 [4] 蓝景刚,胡宏.双歧杆菌及其表面分子的免疫增强作用[J].中国微生态学杂志,1999,11(3):129-131.
 [5] Al - Sheraji SH, Ismail A, Manap MY, et al.

Hypocholesterolaemic effect of yoghurt containing *Bifidobacterium pseudocatenulatum* G4 or *Bifidobacterium longum* BB536 [J]. Food Chemistry, 2012, 135(2):356-361.

[6] Yamazaki S, Kaneko T, Taketomo N, et al. 2 - Amino - 3 - carboxy - 1,4 - naphthoquinone affects the end - product profile of bifidobacteria through the mediated oxidation of NAD(P)H [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2002, 59(1):72-78.

[7] 李迎雪,王立生.双歧杆菌抗肿瘤信号机制的研究[J].中国微生态学杂志,2006,18(6):497-498.

[8] Werf MJ, Venema K. Bifidobacteria: genetic modification and the study of their role in the colon [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(1):378-383.

[9] Alliet P, Scholtens P, Raes M, et al. Effect of prebiotic galacto - oligosaccharide, long - chain fructo - oligosaccharide infant formula on serum cholesterol and triacylglycerol levels [J]. Nutrition, 2007, 23(10):719-723.

[10] Homayouni A, Azizi A, Ehsani MR, et al. Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream [J]. Food chemistry, 2008, 111(1):50-55.

[11] 孟甜,李玉锋.现代工业微生物育种技术研究进展[J].生命科学仪器,2009(12):3-6.

[12] 丁晓兵,李宗伟,刘晓波,等.原生质体诱变在工业微生物育种中的应用进展[J].食品工业科技,2008(7):260-262.

[13] 石文娟,谭俊,储炬,等.红曲色素高产菌株的高通量选育[J].中国酿造,2012,31(7):25-28.

[14] 谭俊,邓芊,郝玉有,等.抗生素化学效价的快速高通量分析方法[J].中国抗生素杂志,2009(10):606-608.

(上接第 133 页)

temperature on physico - chemical properties of dietary fiber and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3):1014-1024.

[10] Plat D, Ben - Shalom N, Levi A. Changes in pectic substances in carrots during dehydration with and without

blanching [J]. Food Chemistry, 1991, 39(1):1-12.

[11] Van Buggenhout S, Sila D N, Duvetter T, et al. Pectins in processed fruits and vegetables: part III—texture engineering [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2009, 8(2):105-117.

(上接第 149 页)

[12] Zhang G H, He G Q. Predominant Bacteria Diversity in Chinese Traditional Sourdough [J]. Journal of Food Science, 2013, 78(8):1218-1223.

[13] Vogelmann S A, Hertel C. Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation [J]. Food Microbiology, 2011, 28(3):583-589.

[14] 苏东海,胡丽花,苏东民.乳酸菌在传统主食馒头中的应用前景[J].中国农学通报,2010,2010(4):61-65.

[15] Gullo M, Romano A D, Pulvirenti A, et al. *Candida humilis* - dominant species in sourdoughs for the production of durum wheat bran flour bread [J]. In International Journal of Food Microbiology, 2003, 80(1):55-59.

[16] Gocmen D, Gurbuz O, Kumral A E, et al. The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties [J]. Zeitschrift Fur Lebensmittel Untersuchung Und forschung A, 2007, 225(5-6):821-830.

[17] Vogelmann S A, Hertel C. Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation [J]. In Food Microbiology, 2011, 28(3):583-589.

[18] Minervini F, Cagno R D, Lattanzi A, et al. Lactic acid bacterium and yeast microbiotas of 19 sourdoughs used for traditional/typical Italian breads: interaction between ingredients and microbial species diversity [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78(3-4):1251-1264.

[19] Landeta G, Reveron I, Carrascosa A V, et al. Use of recA gene sequence analysis for the identification of *Staphylococcus equorum* strains predominant on dry - cured hams [J]. In Food Microbiology September, 2011, 28(6):1205-1210.

[20] Sharafi H, Derakhshan V, Paknejad M, et al. *Lactobacillus crustorum* KH: Novel Prospective Probiotic Strain Isolated from Iranian Traditional Dairy Products [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2015, 175(4):2178-2194.