

不同品种马铃薯淀粉微观结构和热力学性质比较

徐 忠 徐巧姣 王胜男 王志鹏 赵 丹
(哈尔滨商业大学 黑龙江哈尔滨 150076)

摘 要:以 4 个主粮化品种马铃薯淀粉为研究对象,利用激光粒度分析仪、扫描电镜分析仪、差示扫描量热分析仪、X-射线衍射分析仪等仪器分析方法,分析了马铃薯淀粉的微观结构和热力学性质。扫描电镜分析表明,马铃薯淀粉颗粒主要有椭圆形、小球形等形状,不同品种马铃薯淀粉间颗粒形态无明显差异。激光粒度分析表明 4 个品种马铃薯淀粉颗粒粒径大小差异显著,粒径平均值为 37.43~41.62 μm 。4 个品种马铃薯淀粉颗粒结晶类型相同,均属 B 型,但它们的相对结晶度有显著差异,且相对结晶度范围为 24.87%~29.53%。差示扫描分析表明 4 个品种马铃薯淀粉之间的热力学特性参数相变温度(T_0 、 T_p 和 T_c)和热焓值(ΔH)有显著差异($p < 0.05$)。 T_0 、 T_p 、 T_c 和 ΔH 范围分别为:58.63~62.25 $^{\circ}\text{C}$ 、62.92~66.75 $^{\circ}\text{C}$ 、68.37~73.07 $^{\circ}\text{C}$ 、13.7235~17.6313 J/g。4 个品种马铃薯淀粉的冻融稳定性和透明度也有一定差异。4 个品种马铃薯淀粉结构与性质的对比分析结果,为马铃薯主食化原料的筛选提供了理论参考数据。

关键词:马铃薯淀粉;微观结构;热力学特性

Comparison of microstructure and thermodynamic properties of starch from different varieties of potato

XU Zhong, XU Qiao-jiao, WANG Sheng-nan, WANG Zhi-peng, ZHAO Dan

(Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: The microstructure and thermodynamic properties four kinds of potato starch were analyzed by laser particle-size analysis, scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimetry analyzes (DSC), and X-ray diffractometry (XRD). SEM results showed that potato starch particles were elliptical and small spherical of four kinds of shapes, with no significant morphological differences between different potato starch. Laser particle-size analysis indicated significant differences in the size of starch granules between four varieties of potato, which the average particle size varying from 37.43~41.62 μm . Four varieties of potato starch particles had the same crystalline type, which were all belong to B-type, however, their relative crystallinity had significant differences, which was varying from 24.87%~29.53%. Based on the analysis differential scanning calorimetry, thermodynamic properties (T_0 , T_p , T_c , ΔH) from different four varieties of potato starch were significant differences ($p < 0.05$), ranging from 58.63~62.25 $^{\circ}\text{C}$, 62.92~66.75 $^{\circ}\text{C}$, 68.37~73.07 $^{\circ}\text{C}$, 13.7235~17.6313 J/g. The freeze-thaw stability and transparency of four kinds of potato starch have also significant differences. Compared the analysis result of structure and properties from four varieties of potato starch, this work can lay the theory foundation for the study of the potato food raw material screening.

Key words: potato starch; microstructure; thermodynamic properties

中图分类号: TS231

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)06-0132-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.06.017

马铃薯是茄科植物,又名山药蛋、地蛋、土豆、洋芋等,马铃薯富含淀粉、蛋白质、纤维素、维生素、微量元素等成分,营养价值很高^[1-2]。马铃薯中淀粉含量大约 20%,是重要的植物淀粉,其生产量仅次于玉米淀粉,居第二位,马铃薯淀粉在食品、制药等行业应用非常广泛^[3]。

2008 年,联合国粮农组织将小麦、玉米、水稻、马铃薯列为四大主粮原料,2015 年初,我国农业部也提

出了马铃薯主粮化的建议^[4-5],马铃薯加工原料的选择和马铃薯所含主要成分马铃薯淀粉的结构和性质密切相关。目前,关于不同品种马铃薯淀粉结构和性质的研究主要集中在普通马铃薯淀粉的结构与性质分析^[6],关于作为主粮开发马铃薯品种淀粉结构和性质的研究报道较少。以黑龙江省马铃薯食品加工企业目前主要应用的 4 个品种马铃薯淀粉为研究对象,对 4 种马铃薯淀粉的结构和性质进行了分析,为

收稿日期: 2016-07-20

作者简介: 徐忠(1964-)男,博士,教授,研究方向: 淀粉化学与加工技术, E-mail: xuzhong2009@163.com。

马铃薯主粮化加工原料的选择和加工食品的研究提供理论参考。

1 材料方法

1.1 材料与仪器

布尔班克、夏波蒂、麦肯1号、尤金4个品种马铃薯由黑龙江省双城福增食品有限公司提供;其它试剂为国产分析纯。

DHG-9123A 电热鼓风干燥箱 上海一恒科技有限公司; FA2004B 型电子天平 上海越平科学仪器有限公司; MICROTRAC S3500 型激光衍射式粒度分析仪 美国 MICROTRAC 科技有限公司; DSC4000 型差示扫描热量计 PerkinElmer 公司; SU8000 型扫描电镜 天美科学仪器有限公司; X'Pert PRO 型多功能粉末 X 衍射仪 荷兰帕纳科公司; Super 3 快速粘度分析仪 澳大利亚新港科技公司; 721 型紫外分光光度计 上海安亭科技仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 马铃薯淀粉的制备 马铃薯→清洗→去皮切块(取300 g)→组织捣碎(12000 r/min、5 min)→过滤分离→滤液静置→离心(4000 r/min、20 min)→收集沉淀→50℃烘干→粉碎→过100目筛→马铃薯淀粉。

1.2.2 颗粒形态观察 参照王绍清等^[7]方法测定,采用扫描电镜进行颗粒形貌观察。将洁净的铝箔片放在样品台上,在上面均匀涂上样品,再将它们一起放进 EM SCD050 型离子溅射仪的样品舱中,在 20 mA 的电流下喷金 120 s。样品取出后,装入扫描电镜观察室进行观察。

1.2.3 粒度测定 参照侯蕾等^[8]的方法利用激光衍射式粒度分析仪测定淀粉的粒度分布,首先将粒度分析仪电源打开,预热 0.5 h,再将蒸馏水加入样品池中,进行空白测定,同时准确称取 0.2 mg 马铃薯淀粉溶于 10 mL 蒸馏水中形成混悬液待扣完空白后放入激光粒度分析仪的样品池中进行测定,由电脑中仪器软件记录实验数据及图谱,并由软件自动分析出主要参数。参数设置:散射光角度固定 90°,温度为 25℃,光源为固定激光,操作波长为 658 nm,运行 20 s。颗粒的折射指数为 1.53。

1.2.4 结晶结构测定 按照徐斌等^[9]人方法采用多功能粉末 X 衍射仪进行测定。测试条件:电压 40 kV,电流 40 mA,2θ 的旋转范围是 3°~40°,扫描速率 1.2°/min,步长 0.02°,每个样品扫描 30 min。相对结晶度采用分析软件 Jade5.0 计算。

1.2.5 热力学性质测定 参照朱帆等^[10]人方法测定,采用差示扫描热量计进行测定。准确称取 2.5 mg 淀粉样品,置于铝制密封坩埚中,向其中加入 25 μL 去离子水,用配套的铝制坩埚盖密封后,起始温度升到 20℃,终止温度设为 120℃,升温速率为 10℃/min,用电脑记录 DSC 曲线。每个样品平行 3 次,取 3 次平行样的平均值,同时记录相变起始温度 T_0 、峰值温度(T_p)和终止温度(T_c)以及焓变(ΔH)。

1.2.6 糊化性质测定 利用快速粘度分析仪按 Prado Cordoba^[11]方法测定,准确称取 1.5 g 马铃薯淀粉,加 25 g 水在 STDI 模式下进行测定,并记录糊化

温度(Pasting temperature, GT)、峰值粘度(Peak viscosity, PV)、峰谷粘度(Trough viscosity, TV)、最终粘度(Final viscosity, FV)、破损值(Breakdown, BD)、回生值(Setback, SB)。

1.2.7 冻融稳定性测定 参照李志达^[12-13]等方法:准确称取 1 g 马铃薯淀粉样品,置于 250 mL 锥形瓶中,向其中加 100 mL 蒸馏水,沸水浴加热 20 min,前 5 min 边加热边搅拌,然后保温 15 min,待淀粉完全糊化后,取出冷却到室温,用移液管分别移取 10 mL 转移到质量为 m_1 的 100 mL 离心管中,称重为 m_2 (其中淀粉糊质量为 $m_2 - m_1$),放在 -18℃ 冰箱中冷冻 24 h,取出解冻 6 h,取其中 1 管在 4000 r/min 条件下离心 20 min,倒掉上清液,称重为 m_3 ,其余离心管按上述操作继续冷冻解冻然后离心,一共做 5 次。采用析水率表示冻融稳定性,其计算公式如下:

$$\text{析水率}(\%) = \frac{(m_2 - m_1) - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

每个样品平行测定 3 次,取平均值。

1.2.8 透明度测定 将淀粉配制成 1% 的淀粉乳溶液,放入沸水浴中加热并糊化保温 20 min,同时,保持淀粉糊的体积,冷却至室温。分别取等量淀粉糊用分光光度计在 620 nm 处测其透光率,以蒸馏水为空白对照。

1.2.9 数据处理 采用 Excel 计算整理,用 SPASS 17.0 统计分析,数据结果以平均值 ± 标准差进行表示。

2 结果与讨论

2.1 不同品种马铃薯淀粉颗粒形貌分析

由图 1 扫描电镜图(放大 500 倍)可以观察到不同品种马铃薯淀粉颗粒大小分布不相同,大多数大颗粒形状呈椭圆形,小颗粒似小球形,凸圆形等,尤金和麦垦 1 号的形貌很相似,但尤金淀粉颗粒分布比较密集,夏波蒂淀粉颗粒的形状大多呈椭圆形,且长半轴比其他三个品种要长,而布尔班克淀粉颗粒的形貌不是很规则。淀粉颗粒的形态主要受植物来源、生长环境、植物部位、成熟程度等因素的影响^[14]。

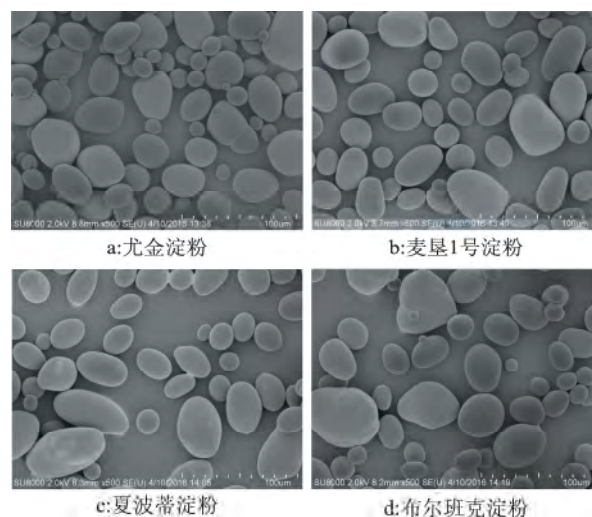


图 1 不同品种马铃薯淀粉的扫描电镜图

Fig.1 SEM of starch from different varieties of potatoes

表1 不同品种马铃薯淀粉的颗粒大小

Table 1 Granule size of starch from different varieties of potatoes

马铃薯品种	平均粒径(μm)	中粒粒径(μm)	d10	d90
布尔班克	40.89 ± 0.030^d	39.21 ± 0.016^d	23.23 ± 0.024^d	60.54 ± 0.016^d
麦垦1号	41.62 ± 0.024^b	38.06 ± 0.012^b	23.52 ± 0.008^b	61.96 ± 0.008^b
尤金	37.43 ± 0.023^a	34.33 ± 0.021^a	20.01 ± 0.022^a	57.31 ± 0.012^a
夏波蒂	38.32 ± 0.031^c	34.79 ± 0.008^c	21.85 ± 0.016^c	58.35 ± 0.012^c

注: 同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$); 表2~表4同。

表2 不同品种马铃薯淀粉的热力学性质及相对结晶度

Table 2 Thermal properties and relative crystallinity of starch from different kinds of potatoes

马铃薯品种	T_0 ($^{\circ}\text{C}$)	T_p ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH (J/g)	相对结晶度(%)
布尔班克	62.25 ± 0.024^d	66.75 ± 0.024^d	73.07 ± 0.024^d	16.2354 ± 0.016^d	29.40 ± 0.011^d
麦垦1号	59.71 ± 0.024^b	63.91 ± 0.016^b	69.90 ± 0.008^b	16.3208 ± 0.021^b	29.53 ± 0.008^b
尤金	61.74 ± 0.016^a	65.57 ± 0.016^a	72.56 ± 0.024^a	17.6313 ± 0.008^a	28.04 ± 0.021^a
夏波蒂	58.63 ± 0.016^c	62.92 ± 0.024^c	68.37 ± 0.016^c	13.7235 ± 0.011^c	24.87 ± 0.016^c

注: T_0 : 初始温度; T_p : 峰值温度; T_c : 终止温度; ΔH : 焓变。

2.2 不同品种马铃薯淀粉颗粒平均粒度测定

所测4种马铃薯淀粉的平均粒径平均粒径如表1所示,不同品种马铃薯淀粉颗粒分布情况不同,其中麦垦1号的平均粒径最大,为 $41.62 \mu\text{m}$,其次是布尔班克淀粉,平均粒径为 $40.89 \mu\text{m}$;尤金和夏波蒂淀粉颗粒粒径均较小,平均粒径分别为 37.43 和 $38.32 \mu\text{m}$ 。4种马铃薯淀粉平均粒径总范围为 $37.43 \sim 41.62 \mu\text{m}$ 之间。淀粉颗粒大小及分布与淀粉的物化性质有一定相关性^[15]。

2.3 不同品种马铃薯淀粉 X-射线衍射图谱及相对结晶度

不同来源的淀粉结晶结构不同,根据X-射线衍射图谱不同,淀粉的结晶结构可分为3种类型即A型、B型、C型,其区别在于较强衍射峰所在的旋转角范围不同, 2θ 旋转角在 15.3° 、 17.0° 、 18.0° 、 19.7° 、 22.2° 、 23.4° 附近有较强衍射峰的为A型; 2θ 在 17.0° 附近有强衍射峰,在 $5.5^{\circ} \sim 5.6^{\circ}$ 、 15.0° 、 19.7° 、 22.2° 、 24.0° 附近有较强衍射峰的淀粉为B型;与A、B型结晶结构分别相比,C型结晶结构的 2θ 旋转角分别在 5.6° 、 23° 处有衍射峰,而且在 23° 处有且只有一个强衍射峰;而V型淀粉是通过物理或化学方法将淀粉和脂肪酸、醇类物质合成的复合物类型^[16-17]。

图2是4个品种马铃薯淀粉的X-射线衍射图谱,由图2可以观察到4个品种马铃薯淀粉峰型无明显差异, 2θ 角都在 5.6° 、 17.0° 附近出现较强衍射峰,因此可以判断出这马铃薯淀粉为B型结晶结构。这与文献报道其它品种马铃薯淀粉研究结果相同^[6]。由表2得知4个品种马铃薯淀粉的相对结晶度之间有显著差异,且相对结晶度范围为 $24.87\% \sim 29.53\%$ 。其中夏波蒂淀粉的相对结晶度最低,麦垦1号淀粉的相对结晶度最高。淀粉相对结晶度的大小差异与淀粉来源、测试方法,计算方法和水分含量等有关。

2.4 不同品种马铃薯淀粉热力学性质

不同品种马铃薯淀粉热力学性质有差异,由表2得知4种马铃薯淀粉的相变初始温度、峰值温度和

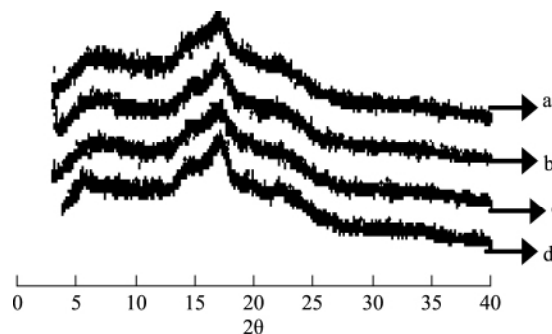


图2 不同品种马铃薯淀粉的X-射线衍射图谱

Fig.2 XRD patterns of starch

from different varieties of potatoes

注: a 布尔班克淀粉; b 夏波蒂淀粉;

c 麦垦1号淀粉; d 尤金淀粉。

终止温度、焓变值分布分别为: $58.63 \sim 62.25^{\circ}\text{C}$ 、 $62.92 \sim 66.75^{\circ}\text{C}$ 、 $68.37 \sim 73.07^{\circ}\text{C}$ 、 $13.7235 \sim 17.6313 \text{ J/g}$ 。其中布尔班克淀粉的相变峰值温度最高,夏波蒂淀粉的相变峰值温度最低;尤金淀粉焓变值最大,夏波蒂焓变值最低。4个品种马铃薯淀粉相变温度和热焓值差异主要与淀粉颗粒结构、直链淀粉含量、直/支比等因素有关^[18-19]。

2.5 不同品种马铃薯淀粉糊化性质

淀粉的糊化性质直接影响淀粉及淀粉质食品的品质^[20],表3是4种马铃薯淀粉的糊化性质参数,图3是4种马铃薯淀粉的糊化曲线。不同品种马铃薯淀粉糊化性质参数间存在差异,部分品种间存在显著差异($p < 0.05$)。4种马铃薯淀粉的糊化温度在 $66.7 \sim 69.33^{\circ}\text{C}$ 之间;峰值粘度在 $3180 \sim 4847 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 之间;峰谷粘度范围在 $2345 \sim 2674 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 之间;最终粘度在 $2490 \sim 2886 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 之间;破损值在 $664 \sim 2495 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 之间;回生值范围在 $145 \sim 255 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 之间。夏波蒂和麦肯1号马铃薯淀粉峰值粘度明显高于其他2个品种,表明该两个品种淀粉颗粒内部结合较松散。夏波蒂和麦肯1号马铃薯淀粉具有较低的回生值,表明其淀粉的老化程度低,具有良好的加

表3 不同品种马铃薯淀粉的糊化性质参数

Table 3 Pasting properties of starch from different varieties of potatoes

马铃薯品种	GT(℃)	PV(mPa·s)	RV(mPa·s)	FV(mPa·s)	BD(mPa·s)	SB(mPa·s)	AW(mPa·s)
布尔班克	69.33 ± 0.24 ^c	3620 ± 30 ^d	2490 ± 12 ^c	2730 ± 11 ^d	1128 ± 41 ^d	236 ± 1.63 ^{bc}	20.65 ± 0.01 ^a
麦垦1号	66.73 ± 0.24 ^a	4734 ± 1.41 ^c	2674 ± 7.48 ^b	2886 ± 21 ^c	2060 ± 9 ^c	216 ± 28 ^c	19.75 ± 0.04 ^b
尤金	69.03 ± 0.29 ^{bc}	3180 ± 11 ^a	2513 ± 27 ^c	2768 ± 21 ^a	664 ± 17 ^a	255 ± 6.16 ^b	21.50 ± 0.02 ^c
夏波蒂	68.60 ± 0.24 ^b	4847 ± 38 ^b	2345 ± 10 ^a	2490 ± 1.7 ^b	2495 ± 28 ^b	145 ± 8.99 ^a	18.09 ± 0.03 ^d

注: GT 糊化温度; PV 峰值粘度; RV 峰谷粘度; FV 最终粘度; BD 破损值; SB 回生值。

表4 不同马铃薯淀粉在不同循环次数的析水率

Table 4 The syneresis of starch gels from different varieties of potatoes

品种	循环次数				
	1次	2次	3次	4次	5次
布尔班克	67.23 ± 0.016 ^c	68.96 ± 0.008 ^c	70.96 ± 0.016 ^c	73.08 ± 0.008 ^c	73.96 ± 0.008 ^c
麦垦1号	61.59 ± 0.008 ^b	63.42 ± 0.012 ^b	64.56 ± 0.012 ^b	67.03 ± 0.016 ^b	67.35 ± 0.012 ^b
尤金	67.61 ± 0.008 ^a	68.79 ± 0.016 ^a	69.32 ± 0.012 ^a	70.54 ± 0.016 ^a	71.18 ± 0.012 ^a
夏波蒂	51.02 ± 0.016 ^d	52.97 ± 0.012 ^d	56.14 ± 0.029 ^d	58.76 ± 0.024 ^d	60.37 ± 0.008 ^d

工适宜性。

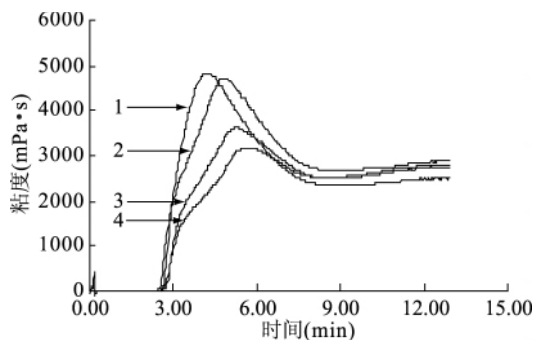


图3 不同品种马铃薯淀粉的糊化性质

Fig.3 Pasting properties of starch from different varieties of potatoes

注: 1: 夏波蒂; 2: 麦垦1号; 3: 布尔班克; 4: 尤金。

2.6 不同品种马铃薯淀粉冻融稳定性分析

冻融是淀粉的冷冻再解冻过程中出现收缩脱水的现象,因此马铃薯淀粉的冻融稳定性可以通过它的析水率来表征,析水率越大,淀粉冻融稳定性越差^[21]。析水率还可以反映淀粉老化难易程度,析水率越大,淀粉老化越容易^[22]。从表4可以看出4个品种马铃薯淀粉析水率范围是51.02%~73.96%,析水率均随着冻融次数的增加而逐渐变大;经过5次冻融循环处理后,尤金淀粉和布尔班克淀粉的析水率高于其它两个品种,夏波蒂淀粉析水率最低,可以看出夏波蒂淀粉的冻融稳定性较好。

2.7 不同品种马铃薯淀粉透明度测定

布尔班克、麦垦1号、尤金、夏波蒂马铃薯淀粉的透光率分别为45.71%、54.95%、63.10%、54.95%。麦垦1号和夏波蒂淀粉的透光率没有明显差异,但与其它两种淀粉透明度相比有一定差异,数据表明尤金淀粉的透明度最高,布尔班克淀粉的透明度最低。

3 结论

不同马铃薯淀粉颗粒形态无明显差异,但粒径大小有显著差异。较大马铃薯淀粉颗粒主要呈椭圆

形,较小马铃薯淀粉颗粒呈球形,布尔班克和麦垦1号的淀粉粒径较大。4个品种淀粉平均粒径范围为37.43~41.62 μm。不同马铃薯淀粉X-射线衍射图谱峰型上无明显差异,结晶度及热力学性质有显著差异。4个品种马铃薯淀粉均属于B型结晶结构,麦垦1号淀粉的相对结晶度最高,夏波蒂淀粉最低。4个品种马铃薯淀粉相变温度均在62.92~66.75℃范围之内,其中布尔班克淀粉的相变峰值温度最高,夏波蒂淀粉最低。不同品种马铃薯淀粉的糊化特性参数有明显差异,糊化特性参数范围分别为:糊化温度在66.73~69.33℃之间;峰值粘度在3180~4847 mPa·s之间;峰谷粘度范围在2345~2674 mPa·s之间;最终粘度在2490~2886 mPa·s之间;破损值在664~2495 mPa·s之间;回生值的范围在145~255 mPa·s之间。夏波蒂和麦肯1号马铃薯淀粉具有较低的回生值。4个品种马铃薯淀粉的冻融稳定性有显著性差异,夏波蒂淀粉冻融稳定性最好;尤金淀粉的透明度比较高,布尔班克淀粉的透明度最低。企业可以参考不同主粮化品种马铃薯淀粉结构和热力学性质数据,再结合马铃薯加工食品种类,指导选择适宜的马铃薯加工原料品种。

参考文献

- [1]刘素稳.马铃薯蛋白质营养价值评价及功能性质的研究[D].天津:天津科技大学,2008.
- [2]曾凡逵,许丹,刘刚.马铃薯营养综述[J].中国马铃薯,2015,29(4):233-243.
- [3]张洪微,韩玉洁,冯传威.马铃薯淀粉的综合开发利用[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2003,19(6):708-710.
- [4]李文娟,秦军红,谷建苗,等.从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J].中国食物与营养,2015,21(7):5-9.
- [5]王希卓,朱旭,孙洁,等.我国马铃薯主粮化发展形势分析[J].农产品加工,2015,3(2):52-55.
- [6]张攀峰.不同品种马铃薯淀粉结构与性质的研究[D].广州:华南理工大学,2012.

- [7]侯蕾,韩小贤,郑学玲,等.不同种类淀粉理化性质的比较[J].粮食加工,2015,2(2):32-37.
- [8]王绍清,王琳琳,范文浩,等.扫描电镜法分析常见可食用淀粉颗粒的超微形貌[J].食品科学,2013,34(1):74-79.
- [9]徐斌,满建民,韦存虚.粉末X射线衍射图谱计算植物淀粉结晶度方法的探讨[J].植物学报,2012(3):278-285.
- [10]朱帆,徐广文,丁文平.DSC法研究小麦淀粉与面粉糊化和回生特性[J].食品科学,2007,28(4):279-282.
- [11]Cordoba L D P, Bet C D, Schnizler E. Study by thermal methods of pinhao starch modified with lactic acid[J]. Carpathian Journal of Food Science & Technology, 2015, 24(1): 60-64.
- [12]李志达,王锦莺,张蓉真,等.凝胶淀粉的理化特性研究[J].食品与发酵工业,1995(2):1-8.
- [13]汪兰,程薇,乔宇,等.冻融循环处理对淀粉凝胶结构和性质的影响[J].食品科技,2010,35(2):177-182.
- [14]米景森.几种食用及药用植物所含淀粉形态的研究[J].药学报,1955(1):103-110.
- [15]二国二郎主编,王薇青等译.淀粉科学手册[M].北京:轻

工业出版社,1990:159-188.

- [16]黄峻榕,刘小晶.淀粉颗粒结晶结构的测定方法研究进展[J].食品科学,2012,33(33):335-338.
- [17]闵燕萍,陈宗道,钟耕,等.莲藕淀粉的加工性能研究[J].农业工程学报,2007(1):259-263.
- [18]Singh J, Singh N. Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(1): 63-72.
- [19]Jayakody L, Hoover R, Liu Q, et al. Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka [J]. Food Research International, 2005, 38(6): 615-629.
- [20]甘淑珍,付一帆,赵思明.小麦淀粉糊化的影响因素及黏度稳定性研究[J].中国粮油学报,2009,24(2):36-39.
- [21]周爱梅,杨慧,杨磊,等.不同品种南瓜淀粉的理化特性对比研究[J].现代食品科技,2013,29(8):1784-1790.
- [22]张华,袁博,赵琼,等.小麦淀粉凝胶冻融稳定性研究[J].食品工业,2015,36(3):35-37.

(上接第128页)

- [19]Uno K. Pharmacokinetic study of oxytetracycline in healthy and vibriosis - infected ayu (*Plecoglossus altivelis*) [J]. Aquaculture, 1996, 143(1): 33-42.
- [20]Freeman A A, KESTEMAN A S, TOUTAIN P L, et al. Pharmacokinetic/pharmacodynamic analysis of the influence of inoculum size on the selection of resistance in *Escherichia coli* by a quinolone in a mouse thigh bacterial infection model [J]. Antimicrob Agents Chemother, 2009, 53(8): 3384-3390.
- [21]Keshena A S, Fran A A, Perringuyomar D A, et al. Influence of inoculum size and marbofloxacin plasma exposure on the amplification of resistant subpopulations of *Klebsiella pneumoniae* in a rat lung infection model [J]. Antimicrob Agents Chemother,

2009, 53(11): 4740-4748.

- [22]刘彦,李健,王群,等.达氟沙星在健康和鳃弧菌感染牙鲆体内的药物代谢动力学比较[J].水产学报,2006,30(4):509-514.
- [23]瞿颖,卢燕,孙美珍,等.马坡沙星在健康小鼠和感染多杀性巴氏杆菌小鼠体内的药动学比较[J].华南农业大学学报,2016,37(2):14-19.
- [24]薛伟芳.甲砒霉素在健康及多杀性巴氏杆菌感染鸡的药动学[D].扬州:扬州大学,2008.
- [25]刘涤洁,冯淇辉,陈杖榴.恩诺沙星在健康及实验性感染乳房炎奶山羊间的比较药动学[J].中国农业科学,2003,36(9):1100-1104.

(上接第131页)

- Health Perspect, 2000, 108(10): 979-982.
- [7]李蕾.邻苯二甲酸二丁酯对巨噬细胞吞噬能力的影响研究[J].中国免疫学杂志,2011,27(9):771-774.
- [8]陈洪涛.邻苯二甲酸酯毒理学研究进展[J].Food & Machinery, 2012, 28(5): 251-253.
- [9]Jurewicz J, Radwan M. Human urinary phthalate metabolites level and main semen parameters, sperm chromatin structure, sperm aneuploidy and reproductive hormones [J]. Reprod Toxicol, 2013, 42: 232-241.
- [10]Tseng IL, Yang YF, Yu CW, et al. Phthalates induce neurotoxicity affecting locomotor and thermotactic behaviors and AFD neurons through oxidative stress in *Caenorhabditis elegans* [J]. PLoS One, 2013, 8: e82657.
- [11]Pant N, Shukla M. Correlation of phthalate exposures with semen quality [J]. Toxicol Appl Pharmacol, 2008, 231(1): 112-116.
- [12]Yolton K, Xu Y, Strauss D, et al. Prenatal exposure to bisphenol A and phthalates and infant neurobehavior [J]. Neurotoxicol Teratol, 2011, 33: 558-566.
- [13]Alam MS, Ohsako S, Matsuwaki T, et al. Induction of

spermatogenic cell apoptosis in prepubertal rat testes irrespective of testicular steroidogenesis: a possible estrogenic effect of dibutyl phthalate [J]. Reproduction, 2010, 139(2): 427-437.

- [14]Leung MCK, Williams PL, Benedetto AAC, et al. *Caenorhabditis elegans*: an emerging model in biomedical and environmental toxicology [J]. Toxicol Sci, 2008, 106(1): 17-19.
- [15]魏巍.以秀丽线虫为模式生物评价蓖麻碱毒性的研究[J].氨基酸和生物资源,2012,34(1):54-56.
- [16]赵晴.秀丽隐杆线虫研究综述[J].安徽农业科学,2010,38(19):10092-10093.
- [17]林玲.邻苯二甲酸二丁酯对斑马鱼胚胎发育毒性的研究[J].卫生研究,2008,37(3):278-280.
- [18]Min A, Liu F, Yang X, et al. Benzyl butyl phthalate exposure impairs learning and memory and attenuates neurotransmission and CREB phosphorylation in mice [J]. Food Chem Toxicol, 2014, 71: 81-89.
- [19]张欣文.邻苯二甲酸二丁酯对雄性果蝇生殖能力影响及其遗传毒性[J].第四军医大学学报,2009,30(1):62-65.
- [20]张欣文.邻苯二甲酸二丁酯对雌性果蝇生殖能力的双重作用[J].生殖与避孕,2008,28(6):329-333.