

紫外双波长法测定西藏马铃薯淀粉中直链淀粉和支链淀粉含量*

郭晓晴^{1,2,3}, 谢和兵^{1,2,3,4**}, 杨林¹, 尼玛次仁⁴, 白玛旦增⁴

(1. 安徽中医药大学药学院, 合肥 230013; 2. 南通市海门长三角药物高等研究院, 南通 226133;

3. 江苏神猴医药研究有限公司, 南通 226133; 4. 西藏神猴药业有限责任公司, 日喀则 857000)

摘要 目的:建立紫外双波长法测定西藏马铃薯淀粉中直链淀粉和支链淀粉的含量。**方法:**按照双波长测定的等吸收点作图法确定西藏马铃薯直链淀粉和支链淀粉测定波长分别为 623、557 nm, 参比波长分别为 498、729 nm, 对收集的 11 批次淀粉样品进行含量测定及分析。**结果:**直链淀粉、支链淀粉质量浓度分别在 0~66、0~90 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内呈良好的线性关系 ($r = 0.9999$ 、 0.9998), 6 份样品中直链淀粉和支链淀粉的平均加样回收率分别为 102.8% (RSD = 1.8%)、98.5% (RSD = 2.2%), 精密度 (RSD = 0.071%、RSD = 0.31%)、重复性 (RSD = 0.26%、RSD = 2.4%)、稳定性 (RSD = 0.14%、RSD = 1.4%) 均符合规定。西藏马铃薯淀粉中直链淀粉、支链淀粉含量分别为 36.74%、45.87%, 与市售马铃薯淀粉相比, 西藏马铃薯淀粉的直链淀粉含量显著性增高 ($P < 0.001$), 支链淀粉含量显著性降低 ($P < 0.05$)。 **结论:**经方法学验证, 该方法可用于西藏马铃薯淀粉的质量评价, 西藏马铃薯淀粉与市售的马铃薯淀粉的直链淀粉、支链淀粉含量存在显著性差异, 本法为西藏马铃薯淀粉的质量标准建立以及高值产品开发提供了实验依据。

关键词: 马铃薯淀粉; 西藏; 直链淀粉; 支链淀粉; 双波长比色法; 含量对比

中图分类号: R 917 文献标识码: A 文章编号: 0254-1793(2024)05-0835-06

doi: 10.16155/j.0254-1793.2024.05.11

Determination of amylose and amylopectin in Tibetan potato starch by ultraviolet dual wavelength method*

GUO Xiao-qing^{1,2,3}, XIE He-bing^{1,2,3,4**},YANG Lin¹, Nimaciren⁴, Baimadanzeng⁴

(1. School of Pharmacy, Anhui University of Traditional Chinese Medicine, Hefei 230013, China; 2. Yangtze Delta Drug Advanced Research Institute, Nantong 226133, China; 3. Jiangsu God Mokey Medical Research Co., Ltd., Nantong 226133, China; 4. Tibet God Mokey Pharmaceutical Co., Ltd., Shigatse 857000, China)

Abstract Objective: To establish a dual-wavelength method for the determination of amylose and amylopectin in potato starch in Tibet. **Methods:** The determination wavelengths of amylopectin and amylopectin in Tibetan potato were 623 and 557 nm, respectively, and the reference wavelengths were 498 and 729 nm. The contents in 11 batches of starch samples collected were determined and analyzed. **Results:** The results showed that the mass concentration of amylose and amylopectin showed a good linear relationship ($r = 0.9999$, $r = 0.9998$) in the range of 0 - 66 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ and 0 - 90 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, respectively. The average recoveries of amylose and amylopectin

* 西藏自治区科技厅科技计划项目 (CGZH2023000152)

** 通信作者 Tel: 13921087087; E-mail: Binghe_8213@163.com

第一作者 Tel: 15932266263; E-mail: xqguo0206@163.com

were 102.8% (RSD = 1.8%) and 98.5% (RSD = 2.2%). The precision (RSD = 0.071%, RSD = 0.31%), repeatability (RSD = 0.26%, RSD = 2.4%) and stability (RSD = 0.14%, RSD = 1.4%) were all in compliance with regulations. The contents of amylose and amylopectin in Tibetan potato starch were 36.74% and 45.87%, respectively. Compared with the commercially available potato starch, the amylose content of Tibetan potato starch was significantly increased ($P < 0.001$), while the amylopectin content was significantly decreased ($P < 0.05$). **Conclusion:** The method is proved to be suitable for the quality evaluation of potato starch in Tibet. There are significant differences in the contents of amylopectin and amylopectin between potato starch in Tibet and potato starch in the market, which provides an experimental basis for the establishment of quality standards of potato starch in Tibet and the development of high-value products.

Keywords: potato starch; Tibet; amylose; amylopectin; dual wavelength colorimetry; content comparison

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.) 属茄科茄属一年生草本植物, 又名土豆、洋芋等, 马铃薯淀粉是从马铃薯植物中提取的由葡萄糖分子聚合而成的多糖^[1], 具有糊化度高、糊化温度低、吸水力强、透明度高、粘接力强、拉伸性大等特征^[2], 故其在工业应用中的品质和档次远高于玉米、小麦等其他淀粉, 在纺织、制药、饲料和食品等领域用途也很广泛, 尤其在食品、制药工业领域^[3-5], 马铃薯淀粉是产品附加值较高的药用淀粉、改性淀粉等淀粉产品的重要原料, 应用价值大。西藏光照时间长、早晚温差大等独特的自然条件, 有利于淀粉积累^[7], 故而马铃薯种植面积逐年增加^[6], 目前已经达到 20 余万亩, 是西藏第四大粮食作物。但西藏马铃薯淀粉质量研究却鲜有报道, 在食品及医药高端淀粉领域的开发应用还是

空白。本研究收集了西藏高原主要产地的马铃薯, 提取淀粉, 建立紫外双波长法测定直链淀粉、支链淀粉的含量, 并与目前市售的马铃薯淀粉产品进行对比, 为西藏马铃薯淀粉质量标准的建立以及高附加值产业化开发提供实验依据。

1 仪器与试剂

1.1 试剂

直链淀粉标准品(批号 RW23543)、支链淀粉标准品(批号 CI22924), 购自西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司; 碘化钾(批号 20211026)、碘(批号 20210926)、氢氧化钾(批号 20190807), 购自国药集团化学试剂有限公司; 无水乙醇(批号 20220321), 购自南通诚记化工贸易有限公司。以上均为分析纯。

样品: 共收集了 11 批样品, 详细样品信息见表 1。

表 1 样品信息表

Tab. 1 Sample information

样品编号 (sample No.)	组别 (group)	品名 (name)	产地 (habitat)	批号 (batch No.)
S1	市售组 (market group)	风车淀粉 (windmillan potato starch)	荷兰 (Holland)	20221220
S2		罗盖特淀粉 (Roquette potato starch)	法国 (France)	VNA29
S3		长岭吉隆淀粉 (Changling Giron starch)	吉林 (Jilin)	D520221001
S4		聊城淀粉 (Liaocheng starch)	山东 (Shandong)	10221201
S5		安徽山河淀粉 (Anhui Shanhe starch)	湖北 (Hubei)	220204
S6		凤球唛 (甘肃) 淀粉 [(Phoenix&earth potato starch)]	甘肃 (Gansu)	20220504
S7	西藏组 (Tibet group)	自提淀粉 (self-extracting starch)	亚东县 (Yadong County)	220617
S8		自提淀粉 (self-extracting starch)	察雅县 (Chaya County)	221215
S9		自提淀粉 (self-extracting starch)	贡嘎县 (Gongga County)	2212191
S10		自提淀粉 (self-extracting starch)	聂拉木县 (Nyalam County)	2212261
S11		自提淀粉 (self-extracting starch)	南木林县 (Nanmulin County)	2301031

1.2 仪器

HH-6 数显恒温水浴锅(上海力辰邦西仪器科技有限公司);UV-1900 紫外分光光度计(岛津公司);PTY-B5000 百分之一天平(华志(福建)电子科技有限公司);XSR205DU/AC 十万分之一天平(梅特勒-托利多集团公司);DHG-9070 电热恒温鼓风干燥箱(常州中捷实验仪器制造有限公司);SP503A 温养破壁料理机(浙江绍兴苏泊尔生活电器);HM-101X 卤素水分测定仪(上海禾工科学仪器有限公司)。

2 方法与结果

2.1 马铃薯淀粉的提取^[8]

选取新鲜的马铃薯 150 g,切成大小约 0.2 cm³ 的小块,置破壁机内,加水 200 mL,破碎 2 min,浆液用 100 目棉纶筛网过滤,滤渣用 150 mL 水搅拌洗涤 3 次,收集合并滤液,滤液置烧杯中,玻璃棒搅拌 2 min,静置 2 h,弃去上清,沉淀物加水 200 mL 搅拌洗涤,洗涤 2 次后用布氏漏斗抽滤,收集滤饼,并置鼓风干燥箱,50 ℃干燥 3 h,过 100 目标准筛,即得。

2.2 碘试剂的配制

称取碘化钾 1 000 mg 于 50 mL 量瓶中,加入双蒸水 20 mL,全部溶解后再加入碘 100 mg,全部溶解后再用双蒸水定容,避光保存。

2.3 溶液的制备

2.3.1 直链淀粉和支链淀粉标准原液^[9] 精密称取直链淀粉标准品 100 mg,置 50 mL 烧杯中,加入无水乙醇 1 mL 润湿,加入 0.5 mol·L⁻¹ 氢氧化钾溶液 10 mL,80 ℃水浴 10 min,放冷后用蒸馏水定容至 100 mL 量瓶,即得质量浓度为 1 mg·mL⁻¹ 的直链淀粉标准原液,依同法制备 1 mg·mL⁻¹ 支链淀粉标准原液。

2.3.2 供试品溶液 精密称取淀粉样品 100 mg,置 50 mL 烧杯中,加入无水乙醇 1 mL 润湿,加入 0.5 mol·L⁻¹ 的氢氧化钾溶液 10 mL,80 ℃水浴 10 min,放冷后用蒸馏水定容至 50 mL 量瓶,再精密移取 2.5 mL 于另一 50 mL 量瓶中,加双蒸水 25 mL,再加 0.1 mol·L⁻¹ 盐酸溶液 2.5 mL 调 pH 至 3 左右,再加入碘试剂 0.5 mL,用双蒸水定容至刻度,静置 20 min,即得。

2.4 测定波长和参比波长的确定

精密吸取直链淀粉标准原液 1 mL,置 50 mL 量瓶中,加双蒸水 25 mL,再加入 0.1 mol·L⁻¹ 盐酸溶液 2.5 mL 调 pH 至 3 左右,加入碘试剂 0.5 mL,用双蒸水定容至刻度,静置 20 min,以溶剂为空白,紫外

光谱 400~1 000 nm 扫描,最大吸收波长为 623 nm;另精密吸取支链淀粉标准原液 3 mL,其他处理同直链淀粉标准原液,最大吸收波长为 557 nm,见图 1。根据等吸收点作图法确定直链淀粉的测定波长为 623 nm,参比波长为 498 nm;支链淀粉的测定波长为 557 nm,参比波长为 729 nm。

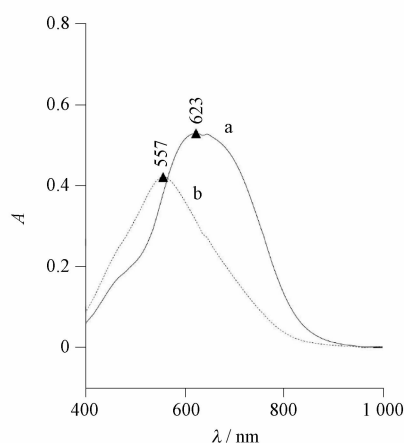


图1 直链淀粉(a)和支链淀粉(b)吸收曲线扫描图(400~1 000 nm)
Fig.1 Absorption curves of amylose (a) and amylopectin (b) (400-1 000 nm)

2.5 方法学验证^[10]

2.5.1 线性关系的考察与标准曲线的绘制 分别精密吸取直链淀粉标准原液 0、0.3、0.9、1.5、2.1、2.7、3.3 mL,置 50 mL 量瓶中,加双蒸水 25 mL,再加 0.1 mol·L⁻¹ 盐酸 2.5 mL,调 pH 至 3 左右,加碘试剂 0.5 mL,定容,混匀,即得质量浓度为 0、6、18、30、42、54、66 μg·mL⁻¹ 的直链淀粉标准溶液;分别精密吸取 1 mg·mL⁻¹ 支链淀粉标准原液 0、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5 mL,同法配制质量浓度为 0、40、50、60、70、80、90 μg·mL⁻¹ 的支链淀粉标准溶液。

以溶剂为空白,直链淀粉标准溶液分别在 623、498 nm 处测得吸收度 A_1 和 A_2 ,支链淀粉标准溶液分别在 557、729 nm 处测得吸收度 A_3 和 A_4 ,以吸收度差值之比 $(A_1 - A_2)/(A_3 - A_4)$ 为横坐标,质量浓度(μg·mL⁻¹)为纵坐标,绘制标准曲线,回归方程分别为

$$Y = 68.791X - 0.5167 \quad r = 0.9999$$

$$Y = 205.25X + 0.0905 \quad r = 0.9998$$

直链、支链淀粉质量浓度分别在 0~66、0~90 μg·mL⁻¹ 范围内线性良好。

2.5.2 精密度试验 精密称取自提淀粉(S7)90 mg (以干品计),按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液,以溶剂为空白,按“2.4”项下测定波长和参比波长测定吸收度,计算吸收度差值,连续测定6次,直链淀粉、支链淀粉吸收度差值的RSD分别为0.071%、0.31%,表明精密度良好。

2.5.3 重复性试验 精密称取自提淀粉(S7)90 mg (以干品计),6份,按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液,以溶剂为空白,按“2.4”项下测定波长和参比波长测定吸收度,计算吸收度差值,直链淀粉、支链淀粉吸收度差值分别为0.573、0.194,RSD分别为0.26%、2.4%,表明重复性良好。

2.5.4 稳定性试验 精密称取自提淀粉(S7)90 mg (以干品计),按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液,以溶剂为空白,分别在0、3、5、10、15、20、30、45、60 min,按“2.4”项下测定波长和参比波长测定吸收度,计算吸收度差值,直链淀粉、支链淀粉吸收度差值的RSD分别为0.14%、1.4%,表明供试品溶液在1 h内稳定性良好。

2.5.5 加样回收率试验 精密称取自提淀粉(S7)

45 mg(以干品计),直链淀粉含量为17.61 mg,加入直链淀粉标准品20 mg,共6份;另精密称取西藏亚东淀粉(S7)50 mg,支链淀粉含量为24.10 mg,加入支链淀粉标准品25 mg,共6份,分别按“2.3.2”项下方法制备供试溶液,以溶剂为空白,按“2.4”项下波长测定吸收度,计算吸收度差值,计算直链淀粉和支链淀粉的含量,平均回收率分别为102.8%和98.5%,RSD分别为1.8%和2.2%,表明本方法回收率较好。

2.6 含量测定结果与分析

不同来源的马铃薯淀粉,按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液,以溶剂为空白,按“2.4”项下波长测定吸收度,计算吸收度差值,代入标准曲线回归方程,外标法计算供试品中直链淀粉和支链淀粉的浓度,并计算直链和支链淀粉的含量,结果见表2。用Excel和SPSS Statistics 25软件对实验数据进行整理和单因素方差分析,实验结果表明,与市售马铃薯淀粉相比,西藏马铃薯淀粉的直链淀粉含量增加约20%,并具有显著性($P < 0.001$),支链淀粉含量显著性降低($P < 0.05$)。

表2 直链淀粉和支链淀粉含量测定结果($n=4$)

Tab. 2 Content determination results of amylose and amylopectin

组别 (group)	编号 (No.)	直链淀粉(amylose)		支链淀粉(amylopectin)	
		含量 (content)/%	均值 (average)/%	含量 (content)/%	均值 (average)/%
市售组(market group)	S1	31.58 ± 0.05	30.76 ± 2.39	47.54 ± 0.22	50.36 ± 7.20
	S2	26.17 ± 1.13		37.40 ± 0.60	
	S3	31.72 ± 2.16		52.31 ± 2.70	
	S4	31.39 ± 0.04		49.54 ± 0.74	
	S5	33.11 ± 0.04		59.09 ± 0.64	
	S6	30.59 ± 1.43		56.26 ± 0.41	
西藏组(Tibet group)	S7	33.81 ± 0.77	36.74 ± 3.05***	40.69 ± 1.29	45.87 ± 6.48*
	S8	41.79 ± 0.21		52.22 ± 1.34	
	S9	37.03 ± 0.10		43.79 ± 2.08	
	S10	35.82 ± 0.38		43.34 ± 1.87	
	S11	35.25 ± 0.10		49.33 ± 1.27	

注(note):vs市售组,***表示 $P < 0.001$,*表示 $P < 0.05$ (for vs commercial group,*** means $P < 0.001$,* means $P < 0.05$)

3 讨论与结论

西藏高原特有马铃薯主要有昌果红土豆、艾玛土豆等品种^[12],因此,本研究采集了上述品种的地理标志产地的马铃薯作为研究供试品,并结合我国

内地马铃薯的主要产区以及目前市场上的主要淀粉辅料品种,选用了内地不同产地、不同厂家的市售马铃薯淀粉产品作为研究对照样品。因此,本研究的样品选择具有合理性。我国是世界第一大马

铃薯种植国家,但消费方式单一,主要是鲜食^[13]、畜禽饲料和普通工业原料,与欧美发达国家的大部分马铃薯淀粉应用于制药、造纸、纺织和建材等行业的高端改性淀粉相比,我国马铃薯淀粉产业的高、精加工依然很薄弱^[14]。直链淀粉分子量相对较小且位于淀粉粒的非晶区,在淀粉改性过程中比支链淀粉更容易受到物理、化学影响而得到改性,在低升糖指数食品、可降解材料中^[15]的产业化价值巨大。因此,直链淀粉占比是影响马铃薯淀粉改性的重要指标,通常马铃薯淀粉直链淀粉占20%~30%^[16-17],与本实验研究结果一致。利用转基因方法,虽能获得直链淀粉含量高达78%的马铃薯品系,但这些品系的淀粉颗粒形态高度变形,不能规模生产^[18-19]。本研究结果证实了西藏马铃薯淀粉具有直链占比较高的特征,这可能与西藏高原光照强度高且持久,昼夜温差大等自然环境有关^[20],本研究为转基因马铃薯的研究提供了新的样品,也为西藏马铃薯淀粉在食品、医药等领域的高端改性淀粉的开发利用提供了实验依据。

本研究建立了双波长法测定西藏马铃薯淀粉中的直链、支链的含量,传统的淀粉测定方法主要有旋光法、酶水解法和蒽酮比色法^[21],这几种方法对样品的纯度要求较高,样品中残留的糖分与脂类物质会干扰测定,且无法区分直链、支链淀粉。现在最常用的是分光光度法^[22],主要有单波长法、双波长法和多波长法,其原理是直链淀粉与碘的结合物呈蓝色,支链淀粉与碘的结合物呈紫色。单波长法可以测定直链、支链淀粉的含量,但直链、支链淀粉吸收峰有部分重叠,对检测结果造成了干扰^[23];双波长法扣除了直链、支链淀粉吸收背景的相互影响,消除了这二者引起的干扰,提高测定的灵敏度、选择性和准确度,且能同时测定直链、支链淀粉的含量,进而计算总淀粉含量;多波长法也能同时测得直链、支链淀粉和总淀粉含量,然而由于波长数量多,结果计算相对复杂,应用不多。因此,本文选择双波长比色法进行方法学研究及含量测定,为西藏马铃薯淀粉质量检测以及质量标准研究提供了参考。

参考文献

[1] 李驰,姚佳,韩乔,等. 马铃薯淀粉消化特性及多酚对其影响研究进展[J]. 食品科技, 2022, 47(12):221

- LI C, YAO J, HAN Q, *et al.* Research progress on digestibility of potato starch and effects of polyphenols on it[J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(12):221
- [2] 张文惠,宋天歌,孙瑜珊,等. 马铃薯淀粉的场流分离表征过程回收率研究[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2022, 42(4):376
- ZHANG WH, SONG TG, SUN YS, *et al.* Study on recovery rate of potato starch in field flow separation characterization process[J]. *J Hebei Univ (Nat Sci)*, 2022, 42(4):376
- [3] WELLPOTT K, JOZEFOWICZ A M, MEISE P, *et al.* Combined nitrogen and drought stress leads to overlapping and unique proteomic responses in potato[J]. *Planta*, 2023, 257(3):58
- [4] 林鑫. 干热辅助食品胶处理对马铃薯淀粉性质影响及其应用[D]. 武汉:华中农业大学, 2020
- LIN X. Effect of Dry Heat Assisted Food Glue Treatment on Potato Starch Properties and Its Application[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020
- [5] LIANG W, ZHAO W, LIU X, *et al.* Understanding how electron beam irradiation doses and frequencies modify the multiscale structure, physicochemical properties, and *in vitro* digestibility of potato starch[J]. *Food Res Int*, 2022, 162(Pt A):111947
- [6] 范继红,巴桑次仁,边巴次仁,等. 不同栽培环境对西藏红皮马铃薯营养成分的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(S2):150
- FAN JH, Basangciren, Bianbaciren, *et al.* Effects of different culture environment on nutrient composition of Xizang red skin potato[J]. *Hubei Agric Sci*, 2019, 58(S2):150
- [7] MENGIN V, PYL ET, ALEXANDRE MT, *et al.* Photosynthate partitioning to starch in *Arabidopsis thaliana* is insensitive to light intensity but sensitive to photoperiod due to a restriction on growth in the light in short photoperiods[J]. *Plant Cell Environ*, 2017, 40(11):2608
- [8] 段思凡. 二倍体马铃薯薯块淀粉的测定与分析[D]. 昆明:云南师范大学, 2020
- DUAN SF. Determination and Analysis of Starch in Diploid Potato Block[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2020
- [9] 刘襄河,郑丽璇,郑丽勉,等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J]. 广东农业科学, 2013, 40(18):97
- LIU XH, ZHENG LX, ZHENG LM, *et al.* Determination of amylose, amylopectin and total starch in common starch raw materials by dual wavelength method[J]. *Guangdong Agric Sci*, 2013, 40(18):97
- [10] 戈雅倩,谢和兵,尼玛次仁,等. HPLC法同时测定藏药三味檀香汤散中主要指标成分的含量[J]. 药物分析杂志, 2023, 43(5):748
- GE YQ, XIE HB, Nimaciren, *et al.* Simultaneous determination of index components in Tibetan medicine Sanwei Tanxiangtang powder by HPLC[J]. *Chin J Pharm Anal*, 2023, 43(5):748

- [11] ZHU L, SUN H, MA M, *et al.* The sustainability of sweet potato residues from starch processing by-products: preparation with *Lactocaseibacillus rhamnosus* and *Pediococcus pentosaceus*, characterization, and application [J]. *Foods*, 2022, 12(1):128
- [12] 拉姆玉珍, 朱玉福. 西藏艾玛土豆产业科技化及其启示[J]. 西藏农业科技, 2022, 44(4):100
Lamuyuzhen, ZHU YF. Science and technology of Aima potato industry in Tibet and its enlightenment [J]. *Tibet J Agric Sci*, 2022, 44(4):100
- [13] 仇菊, 朱宏, 朱大洲, 等. 不同加工用途马铃薯品质特性分析[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(6):372
QIU J, ZHU H, ZHU DZ, *et al.* Analysis of potato quality characteristics for different processing applications [J]. *Chin Potato J*, 2019, 33(6):372
- [14] 刘振亚. 不同品种马铃薯的加工适应性及应用研究[D]. 银川:北方民族大学, 2019
LIU ZY. Study on Processing Adaptability and Application of Different Varieties of Potato[D]. Yinchuan: North Minzu University, 2019
- [15] 魏行远, 方涵, 冷思宇, 等. 生物降解淀粉塑料研究进展与市场展望[J]. 广东化工, 2021, 48(8):124
WEI XY, FANG H, LENG SY, *et al.* Research progress and market prospect of biodegradable starch plastics [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2021, 48(8):124
- [16] BLENNOW A, SKRYHAN K, TANACKOVIC V, *et al.* Non-GMO potato lines, synthesizing increased amylose and resistant starch, are mainly deficient in isoamylase debranching enzyme [J]. *Plant Biotechnol J*, 2020, 18(10):2096
- [17] 熊校勤, 张洪权, 方婵雨, 等. 羟乙基直链淀粉的制备及摩尔取代度测定[J]. 药物分析杂志, 2021, 41(7):1277
XIONG XQ, ZHANG HQ, FANG CY, *et al.* Preparation of hydroxyethyl amylose and determination of molar substitution degree [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2021, 41(7):1277
- [18] HOFVANDER P, ANDERSSON M, LARSSON CT, *et al.* Field performance and starch characteristics of high-amylose potatoes obtained by antisense gene targeting of two branching enzymes [J]. *Plant Biotechnol J*, 2004, 2(4):311
- [19] SCHWALL GP, SAFFORD R, WESTCOTT RJ, *et al.* Production of very-high-amylose potato starch by inhibition of SBE A and B [J]. *Nat Biotechnol*, 2000, 18(5):551
- [20] ZHU Z, GUO W. Frequency, moisture content, and temperature dependent dielectric properties of potato starch related to drying with radio-frequency/microwave energy [J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1):9311
- [21] 王子逸, 张宾佳, 赵思明, 等. 不同品种马铃薯淀粉的多层次结构和理化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(3):24
WANG ZY, ZHANG BJ, ZHAO SM, *et al.* Study on the multilevel structure and physicochemical properties of different varieties of potato starch [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2019, 34(3):24
- [22] SHAO Y, ZHU D, YU J, *et al.* Development of certified reference materials for the determination of apparent amylose content in rice [J]. *Molecules*, 2022, 27(14):4647
- [23] WANG Z, FAN S, WU J, *et al.* Application of long-wave near infrared hyperspectral imaging for determination of moisture content of single maize seed [J]. *Spectrochim Acta A*, 2021, 254:119666

(本文于2023年4月12日收到)