



胡少新,李国良,付立新,等.辐照玉米淀粉制备慢消化淀粉研究[J].黑龙江农业科学,2020(8):88-91.

# 辐照玉米淀粉制备慢消化淀粉研究

胡少新,李国良,付立新,扈光辉,王明泉,任洪雷,杨剑飞,刘畅

(黑龙江省农业科学院 玉米研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为提高普通玉米淀粉中慢消化淀粉的含量,采用 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 射线玉米淀粉进行辐照处理,分别采用2.0,4.0,8.0,12.0,16.0 kGy 5个剂量,测定不同剂量辐照处理后玉米淀粉中慢消化淀粉的含量。结果表明:获得慢消化淀粉含量(57.45%)最高的辐照剂量为4.0 kGy。通过扫描电子显微镜(SEM)表征分析表明,玉米淀粉颗粒辐照处理后,颗粒表面出现裂纹。通过偏光显微镜表观形态分析,辐照处理后偏光十字消失。

**关键词:**玉米淀粉;辐照;慢消化

淀粉广泛地分布在自然界中,是一种含量仅次于纤维素的有机化合物,主要存在于植物的根、块茎和果实中。淀粉是提供人类身体机能的主要能量来源,主要存在于食物的碳水化合物之中<sup>[1]</sup>。传统研究认为淀粉在经过口腔、胃、小肠后,可以被全部消化吸收利用,但通过深入的研究表明,淀粉不能在上消化道内全部被人体吸收利用。不同种类的淀粉在人体内的消化吸收利用效率也不相同。对于淀粉的消化研究,存在一种依据淀粉消化时间不同的分类方式<sup>[2]</sup>。淀粉在体内经不同淀粉酶的水解作用,最终分解成葡萄糖,为机体提

供能量。淀粉在体内消化时间不同,对机体产生的影响也不同。因而,淀粉在体内的消化时间可以作为不同淀粉生理性能的考核指标。Englyst等<sup>[3]</sup>根据体内淀粉消化后葡萄糖释放的不同时间,将淀粉分成3类:20 min内可以被消化道内 $\alpha$ -淀粉酶和葡萄糖淀粉酶所消化的部分淀粉,称之为快速消化淀粉(Rapidly Digestible Starch, RDS);20~120 min内被消化道内 $\alpha$ -淀粉酶和葡萄糖淀粉酶消化的部分淀粉,称之为慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch, SDS);120 min时仍不能被消化道内 $\alpha$ -淀粉酶和葡萄糖淀粉酶水解转变为葡萄糖的部分淀粉,称之为抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。不同种类和来源的淀粉,因淀粉分子结构不同,从而具有不同的消化特性。根据淀粉的需求不同,可以通过物理、化学、酶或者复合手段对淀粉进行改性处理,从而满足生产

收稿日期:2020-02-11

基金项目:黑龙江省农业科技创新工程项目(2012QN028)。

第一作者:胡少新(1983-),男,硕士,助理研究员,从事核技术农业利用及玉米育种研究。E-mail: xinxin\_future@126.com。

## Classification and Evaluation of Nalati Scenic Spot

LI Qian

(Landscape Teaching and Research Office of Xinjiang Agricultural Vocational and Technical College, Changji 830000, China)

**Abstract:** Nalati scenic spot is located in the hinterland of Tianshan Mountain and the east end of Yili River Valley. In recent years, it had not only led to the development of tourism in Yili Prefecture, but also promoted the development of tourism in Xinjiang. In order to better promote the development of Nalati scenic area tourism industry and provide more project construction ideas for the builders, this paper classified and evaluated the scenic resources of Nalati scenic spot according to the Code for Scenic Spot Planning (GB 50298-1999). The results showed that there were 132 landscape units, including 73 natural landscape units and 59 cultural landscape units. The special resources of Nalati scenic spot had high regional, ornamental, popular science, popularity and influence, which could be used as the key projects of Nalati scenic spot, and have great development potential.

**Keywords:** Nalati scenic spot; scenery source classification; scenery source evaluation

生活的不同需求。慢消化淀粉具有在体内缓慢消化的生理功能,因而可以降低对血糖稳态调控系统的压力,预防和治疗各种饮食相关的慢性疾病,应用于糖尿病人或肥胖人群食用的食品中<sup>[4-8]</sup>。为提高普通玉米淀粉中慢消化淀粉含量,采用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照处理普通玉米淀粉,获得制备慢消化淀粉含量的最佳工艺,初步分析慢消化淀粉含量提高时淀粉颗粒表现形态变化,为制备慢消化淀粉的研究提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

玉米淀粉:大庆圣源兴州生物工程有限公司; $\alpha$ -淀粉酶(1 600 AGU $\cdot$ g<sup>-1</sup>):诺维信(中国)生物技术有限公司;黑曲霉糖化酶(100 000 U $\cdot$ g<sup>-1</sup>):威海德科生物科技有限公司;转化酶:美国 Sigma 公司;葡萄糖标准品、瓜尔豆胶、邻联甲苯胺、醋酸钠、冰醋酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、麦芽糖、乙醇等试剂,均为国产分析纯化学试剂。

分光光度计:安捷伦仪器有限公司;分析天平:瑞士梅特勒-托利多公司;恒温振荡水浴锅:常州上特仪器制造有限公司;扫描电子显微镜:日本 Hitachi 公司 S23400N 型扫描电镜;偏光显微镜:XP-330 型,上海蔡康光学仪器厂。

### 1.2 方法

1.2.1 样品辐照处理方法 淀粉样品的辐照使用黑龙江省农业科学院玉米研究所辐照装置进行处理,辐照源为<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线,放射源活度 4.73 万居里。将淀粉样品装入聚乙烯辐照样品袋,使用多功能真空包装机排气、封口。淀粉分子被照射时,辐照剂量不同对淀粉分子糖苷键和结晶结构影响差别较大,采用剂量率为 11.25 Gy $\cdot$ min<sup>-1</sup>的辐照强度对样品进行辐照处理,辐照剂量分别为 2.0、4.0、8.0、12.0 和 16.0 kGy。每个样品重复 3 次做平行试验,留 3 份样品做空白对照。

1.2.2 葡萄糖标准曲线制作 ①空白溶液制备:用乙酸钠缓冲溶液(pH5.0)分别将 1.0 mL 浓度 0.1%的过氧化物酶溶液、1.0 mL 浓度 1.0%的邻联甲苯胺溶液和 1.0 mL 浓度为 100.0 U $\cdot$ mL<sup>-1</sup>葡萄糖氧化酶溶液用乙酸钠缓冲溶液(pH5.0)移至 100.0 mL 容量瓶中,定容至刻度线,制成酶溶液备用。取 0.5 mL 去离子水和 5.0 mL 酶溶液加入至锥形瓶中混匀后作为葡萄糖标准溶液空白溶液。

②葡萄糖标准溶液制备:将葡萄糖标准品(分

析纯或优级纯)干燥至恒重。精确称取 0.05 g,用水移 100.0 mL 容量瓶中,定容至容量瓶刻度线。此标准液相当于浓度为 0.50 mg $\cdot$ mL<sup>-1</sup>。

③分别取葡萄糖标准液 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 mL 至 1~5 号锥形瓶中,用去离子水将 1~5 号锥形瓶溶液总量补至 0.5 mL,再在 1~5 号锥形瓶中分别加入酶溶液 5.0 mL,制备成不同浓度葡萄糖标准溶液。

④空白溶液和葡萄糖标准溶液在与酶溶液混合后,立即置于 37 ℃振荡水浴锅中水浴反应 15 min,反应结束后在分光光度计 625 nm 测定吸光度值。

⑤根据不同浓度葡萄糖标准溶液的吸光度值制作葡萄糖含量标准曲线,获得葡萄糖标准曲线回归方程。

1.2.3 样品中葡萄糖含量测定 ①样品溶液的制备:取 0.5 mL 淀粉样品溶液和 5.0 mL 酶溶液混合,制备样品溶液。

②样品空白溶液制备:采用 0.5 mL 去离子水和 5.0 mL 酶溶液,制备样品空白溶液。

③将样品空白溶液和样品溶液置于 37 ℃振荡水浴锅中水浴反应 15 min,反应结束后在分光光度计 625 nm 测定吸光度值,根据样品实际吸光度值和葡萄糖标准曲线回归方程测定样品中葡萄糖含量。

1.2.4 慢消化淀粉含量的测定方法 取 2.0 g 左右淀粉充分混匀后移入至 100.0 mL 容量瓶中,定容至刻度线,取 0.5 mL 样品溶液置于锥形瓶中,加入 15.0 mL 乙酸钠缓冲液(pH5.0),再加入 5.0 mL 浓度为 5.0 mg $\cdot$ mL<sup>-1</sup>瓜尔豆胶溶液,混匀后置于 37 ℃恒温振荡水浴锅中预热,预热 10 min 后加入 10.0 mL 的 $\alpha$ -淀粉酶和糖化酶,水解反应 20 min 后取 0.5 mL 水解液采用葡萄糖含量测定方法测定葡萄糖产生量,水解反应 120 min 后取 0.5 mL 水解液采用葡萄糖含量测定方法测定葡萄糖产生量,根据其差值计算出样品中慢消化淀粉含量<sup>[9]</sup>。

1.2.5 扫描电子显微镜分析 将样品置于 2.5%、pH6.8 的戊二醛溶液中并淹没样品后,置于 4 ℃冰箱中固定 4 h。再用 0.1 mol $\cdot$ L<sup>-1</sup>磷酸缓冲液或双蒸水清洗样品 3 次,每次 10~15 min。分别使用浓度 50%、70%、80%、90%的乙醇对样品进行脱水处理,每次 10~15 min,再用浓度

100%的乙醇脱水 3 次,每次 10~15 min。脱水后用乙醇含量 50%的乙酸异戊酯溶液置换 15 min,再用纯乙酸异戊酯置换 15 min。置换后的样品放在干燥器中干燥处理 8 h。干燥后用导电胶把颗粒样品粘附在铝制托盘上,再在样品表面镀上一层 1 500 nm 厚度的金属膜,喷金后用于上机观察。

1.2.6 偏光显微镜分析 将样品均匀洒在载玻片上,盖上盖玻片后,固定在偏光显微镜载物台上,调整目镜和物镜进行观察分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 辐照处理对玉米慢消化淀粉含量的影响

如图 1 所示,淀粉分子经辐照处理后,高能射线作用会导致淀粉分子分子链断裂,淀粉分子聚合度降低,分子量变小。Yoon 等<sup>[10]</sup>研究结果表明,普通玉米淀粉和蜡质玉米淀粉经  $\gamma$  射线辐照处理后,会导致普通玉米淀粉和蜡质玉米淀粉分子量降低,在辐照剂量达到 5.0 kGy 时,淀粉分子分子量变化非常明显。通过不同剂量辐照处理普通玉米淀粉结果表明,辐照处理后玉米淀粉中慢消化淀粉含量不同,辐照剂量为 4.0 kGy 时,辐照处理后的玉米淀粉中慢消化淀粉含量最高,为 57.45%。辐照剂量达到 4.0 kGy 以后,随剂量增加慢消化淀粉含量逐渐降低。说明一定剂量条件下,淀粉分子经  $\gamma$  射线辐照作用后,淀粉分子的结构发生改变,分子链断裂,消化性提高,但当辐照剂量达到一定数值后,降解的短链淀粉分子又会产生交联、聚合作用,形成致密的分子结构,使淀粉的消化性能降低。

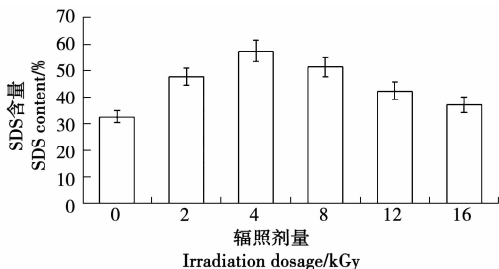


图 1 不同剂量辐照处理后玉米淀粉中慢消化淀粉含量  
Fig. 1 The slowly digestible starch content in maize starch treated with different irradiation dosages

### 2.2 扫描电镜(SEM)分析

淀粉颗粒具有一定的结晶结构,淀粉分子的颗粒形态和大小关系着淀粉颗粒的消化特性和功能特性。由图 2 可知,在扫描电子显微镜观察下,

未经辐照处理玉米淀粉颗粒表面相对光滑,大部分淀粉颗粒呈多角形或椭圆形,少量淀粉颗粒表面有凹陷或者凹痕。经 4.0 kGy 的  $\gamma$  射线辐照处理后,淀粉颗粒外观产生一定变化,椭圆形淀粉颗粒变多,大部分淀粉颗粒变小,部分淀粉颗粒表面凹痕变深。上述现象表明,辐照处理后,淀粉分子在高能  $\gamma$  射线作用下,淀粉分子中部分化学键断裂,有些淀粉分子链被打断,淀粉分子链变短。

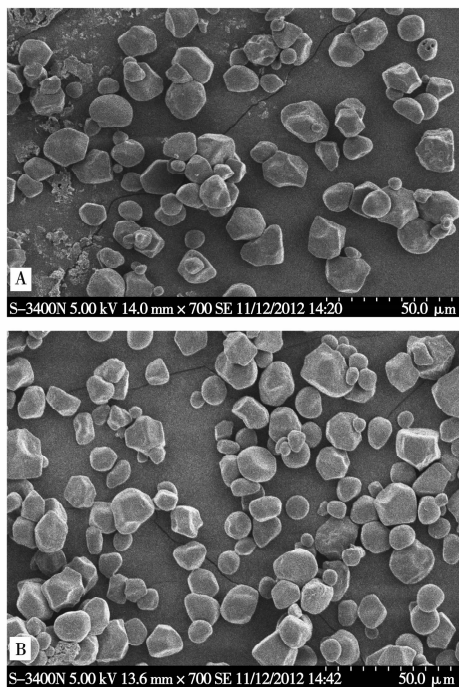


图 2 未处理(A)和 4.0 kGy 辐照处理(B)玉米淀粉  
扫描电镜照片

Fig. 2 SEM photos of untreated(A) and 4.0 kGy (B) irradiated maize starch

### 2.3 偏光显微镜分析

用偏光显微镜观察淀粉颗粒时,淀粉颗粒主体呈现白色,颗粒表面存在着十字形的黑色区域,称为马耳他十字,也称为十字消光现象。在偏光显微镜观察下,未经辐照处理的玉米淀粉颗粒中央部分存在着明显的十字形黑色区域。经过 4.0 kGy 的  $\gamma$  射线辐照处理后,淀粉颗粒中央位置十字形黑色区域依然明显,但部分淀粉颗粒偏光十字交叉点位置出现了一些空洞,有些淀粉颗粒十字形结构变得不清晰。偏光显微镜观察分析也表明辐照处理会对淀粉颗粒表观形态产生一定影响,会对淀粉分子结构造成一定破坏,淀粉颗粒结晶区域也被破坏。

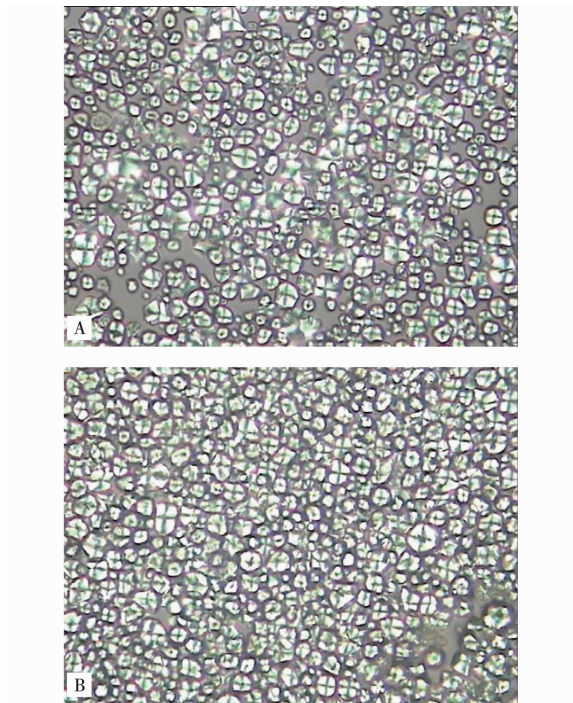


图3 未处理(A)和4.0 kGy(B)处理淀粉偏光照片  
Fig. 3 Maltose cross photographs of untreated(A)  
and 4.0 kGy (B) irradiated maize starch

### 3 结论

采用不同剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对玉米淀粉进行辐照处理,结果表明,辐照处理可以改变玉米淀粉中SDS含量,辐照剂量为4.0 kGy时,玉米淀粉中SDS含量最高,为57.45%。

扫描电子显微镜观察表明,玉米淀粉颗粒经过辐照处理后,淀粉颗粒变小,部分淀粉颗粒表面凹痕加深,淀粉颗粒表面天然空隙消失。

玉米淀粉经辐照处理后,偏光十字强度减弱,

部分淀粉分子偏光十字中央出现了一些空洞,部分淀粉分子偏光十字现象消失,说明辐照处理玉米淀粉后,淀粉颗粒分子内部结晶结构产生变化,结晶区域被破坏,颗粒结构发生变化。

对辐照玉米淀粉制备慢消化淀粉的工艺进行了初步研究,还需进一步对慢消化淀粉的生理学效应进行深入研究,深度剖析辐照玉米淀粉在体内的消化机制,以及与其他营养物质消化时的相互影响。

### 参考文献:

- [1] Ashogbon A O, Akintayo E T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources; A review[J]. *Starch-Stärke*, 2014, 66, 41-57.
- [2] 缪铭,江波,张涛. 新型功能性配料——低血糖慢消化淀粉的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2008(2): 78-85.
- [3] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46: 33-50.
- [4] 缪铭,张涛,江波. 慢消化淀粉体外测定方法的探讨[J]. *食品与发酵工业*, 2008(12): 143-146.
- [5] Hamaker B R, Han X Z. Slowly digestible starch [P]. WO2004066955, 2004-08-12.
- [6] Shi Y C, Cui X, Birkett A M. Slowly digestible starch product[P]. US6929817, 2005-08-16.
- [7] Mueller R, Innereber F. Slowly digestible starch product[P]. WO2005058973, 2005-06-30.
- [8] 缪铭,江波,张涛. 低血糖生成指数淀粉类衍生物的研究进展[J]. *食品科学*, 2008, 29(4): 452-456.
- [9] 吴海燕. 慢消化淀粉定量测定方法的比较研究[J]. *食品工业科技*, 2009(12): 401-402.
- [10] Yoon H S, Yoo J Y, Kim J H, et al. *In vitro* digestibility of gamma irradiated corn starches [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 81(4): 961-963.

## Study on Slowly Digestible Starch Preparing Method from Maize Starch by Irradiation

HU Shao-xin, LI Guo-liang, FU Li-xin, HU Guang-hui, WANG Ming-quan, REN Hong-lei, YANG Jian-fei, LIU Chang

(Maize Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to improve the content of slowly digestible starch in common maize starch, the paper utilized Co-60 gamma ray irradiating maize starch for increasing slowly digestible starch content. The irradiation of maize starch utilized 2.0, 4.0, 8.0, 12.0 and 16.0 kGy in this paper. The results showed that, the slowly digestible starch content was measured after irradiation. The slowly digestible starch content reached the highest-level(57.45%) at 4.0 kGy irradiation dosage. The changes of surface morphology of maize starch particles were observed at scanning electron microscope. The maize starch particles had cracks on the surface after irradiation. The polarizes cross fade away after irradiation by polarizing microscope.

**Keywords:** maize starch; irradiation; slowly digestion