

小麦缓慢消化淀粉的制备工艺研究

张宝月, 陈理杰, 宋贤良

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 本试验主要研究了酶学方法和湿热法制备小麦缓慢消化淀粉的影响因素和最优工艺条件。酶法制备小麦缓慢消化淀粉(SDS)实验通过控制普鲁兰酶用量、淀粉乳浓度、酶解时间、储藏温度和储藏时间等因素对样品中 SDS 含量的影响。湿热法制备小麦 SDS 实验通过近似的方法考察了热处理温度、热处理时间、贮存时间等因素。结果表明, 酶法制备小麦 SDS 的最优工艺为淀粉乳浓度 20% (干基), 普鲁兰酶用量 8 ASPU/mL, 酶解时间 4 h, 储藏温度 4 °C, 储藏时间 2 d, SDS 最高含量为 52.8%。湿热法制备小麦 SDS 的最优工艺为热处理温度 120 °C, 热处理时间 1 h, 贮存时间 18 h, SDS 最高含量为 36.5%。

关键词: 小麦缓慢消化淀粉; 最优制备工艺; 普鲁兰酶

文章编号: 1673-9078(2012)1-91-95

Preparation Process of Slowly Digestible Starch from Wheat

ZHANG Bao-yue, CHEN Li-jie, SONG Xian-liang

(College of Food Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: This experiment studies enzyme modified technology and moist heat-cooling technology to make slowly digestible starch and determine its optimized technological conditions. Experimental results showed that the concentration of starch was 20%, the pullulanase concentration was 8ASPU/ml, the enzyme reaction time was four hours, the storage temperature was 4 °C, the storage time was two day, and SDS obtained the highest rate of 52.8%. And heat treatment temperature was 120 °C, the heat treatment time was one hour, storage time was 18 hours for the best program in heat-cooling technology, SDS obtained the highest rate of 36.5%.

Key words: wheat slowly digestible starch; optimum preparation; pullulanase

淀粉是食品、纺织、医药、化工等工业中重要的原料,也是人们膳食中碳水化合物的主要来源,近年来国内外的科学工作者对淀粉进行了广泛深入的研究。随着不断深入的研究,一些研究者发现淀粉在体外试验中无法完全被淀粉酶水解,而且在人体小肠中也无法被消化吸收,一种新的淀粉分类方式因此产生了。Englyst、Eerlingen 等^[1-2]在体外试验中依据淀粉的淀粉酶水解性和可利用性将淀粉分为 3 类:易消化淀粉(Ready Digestible Starch,简称 RDS)指能在小肠中被快速消化吸收的淀粉(消化时间<20 min);缓慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch,简称 SDS),指能在小肠中被完全水解吸收但速度较慢的淀粉(消化时间在 20~120 min);抗性淀粉(Resistant Starch,简称 RS)指在人体小肠内无法消化利用的淀粉(消化时间>120 min)。

与易消化淀粉相比,缓慢消化淀粉能保持饭后血糖的缓慢增加而且在长时间内维持稳定的血糖水平,

收稿日期: 2011-10-21

作者简介: 张宝月 (1988-),女,本科生,研究方向:食品质量与安全

通讯作者: 宋贤良,男,博士,副教授,研究方向:天然高分子的结构修饰及功能化

不会引起血糖的大幅波动,这有助于对心血管疾病、糖尿病和肥胖病人病情的调控。

功能性食品是 21 世纪食品工业发展的重要方向之一,随着人们的生活水平不断提高,人们越来越注重饮食健康和食品的功能化。世界各国都非常重视来源广泛、价格低廉、可降解的天然高分子资源淀粉的开发研究。缓慢消化淀粉也具有特殊的营养特性,但目前只有一些研究报道,未见商业化可利用的产品^[3-6]。

目前,国内研究学者多以大米或玉米淀粉作为原料制备缓慢消化淀粉。仅有王萍、陈磊^[7-10]等人,使用普鲁兰酶脱支处理大米淀粉和玉米淀粉制备 SDS,罗志刚、杨毅才等人^[11-14]对缓慢淀粉的机理作了初步的探究以及少数几篇综述报道。但小麦淀粉作为我国大宗消费淀粉原料之一在 SDS 的制备研究上仍处于空白阶段,因此探究以小麦淀粉为原料制备 SDS 的适当工艺对国内 SDS 研究领域是一个很好的补充,同时也为生产以小麦缓慢消化淀粉为配方的保健食品奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小麦淀粉, 新乡豫丰粮食加工有限公司; 普鲁兰酶(1000 ASPU/mL), 裕立宝生物科技有限公司; 猪胰 a-淀粉酶(23.6 μ/mg), 美国 Sigma 公司; 苯酚、氢氧化钠、亚硫酸钠、酒石酸钾钠、麦芽糖、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钠、盐酸, 均为分析纯。

TDL-5 型多鸽牌低速台式离心机, 上海安亭科学仪器厂; DELTA320 Ph 计, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; UV-3010 紫外可见分光光度计, 日立公司; LSC60D 水分测定仪, 沈阳龙腾电子有限公司; AL 104 电子天平, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司; W2-100 型电热恒温水浴锅, 上海申生科技有限公司; FW100 高速万能粉碎机, 天津市华鑫仪器厂; DHG-9070 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; 水浴恒温振荡器, 江苏荣华仪器制造有限公司。

1.2 SDS 含量测定方法

1.2.1 麦芽糖标准曲线的绘制

先配制 1.00 mg/mL 麦芽糖标准使用液, 再配制成 0.00 mg/mL、0.10 mg/mL、0.20 mg/mL、0.30 mg/mL、0.40 mg/mL、0.50 mg/mL、0.60 mg/mL 系列标准溶液, 采用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法在 540 nm 波长处测定吸光度, 以麦芽糖浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线。所得标准曲线如图 1 所示:

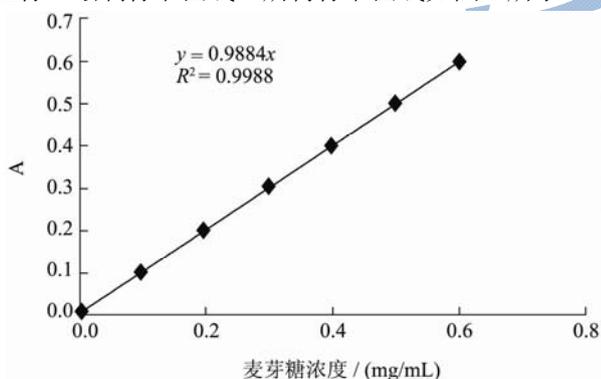


图 1 麦芽糖标准曲线

Fig.1 Calibration curve of maltose

1.2.2 体外法测定 SDS 含量

样品中缓慢消化淀粉含量通过胰淀粉酶体外试验来测定。取 0.100 g 脱支贮存淀粉放入试管中, 加入 15 mL 磷酸盐缓冲溶液(pH 6.9), 摇匀, 再加入复原的胰淀粉酶(1 g 猪胰 α-淀粉酶溶解于 100 mL 0.9% NaCl 溶液中), 添加量为 23000 U/g, 在 37 °C 条件下水解, 分别在水解 1 h 和 10 h 时取 1 mL 水解液, 采用 3,5-二硝基水杨酸比色法在 540 nm 处测定吸光度, 根据麦芽糖标准曲线计算出麦芽糖的量, 最后结果测 3 次取平均值。具体计算公式如下:

$$\text{缓慢消化淀粉含量}(\%) = \frac{(R_{10} - R_1)}{100} \times 100\%$$

式中: R_1 -脱支 1 h 产生麦芽糖的量, mg; R_{10} -脱支 10 h 产生麦芽糖的量, mg; 100-样品质量, mg。

1.3 酶法制备 SDS 工艺条件试验

取 20.0 g 小麦淀粉(干基)配制成浓度为 20% 的淀粉乳, 置于 70 °C 糊化 20 min, 自然冷却至 40 °C, 加入普鲁兰酶使其浓度分别为 6 ASPU/g, 混匀, 置于 57.5 °C、130 r/min 摇床中振荡 6 h 后, 取出于 120 °C 高压灭菌锅中保温 30 min, 自然冷却至室温, 于 4 °C 冰箱中储藏 2 d, 60 °C 下烘干 24 h, 研磨, 过筛(80 目), 检测缓慢消化淀粉的含量

1.3.1 普鲁兰酶用量对 SDS 含量的影响

普鲁兰酶加入量分别为 0、6、8、10、12、14 ASPU/g, 置于 57.5 °C、130 r/min 摇床中振荡 6 h, 其余操作同 2.3。

1.3.2 淀粉乳浓度对 SDS 含量的影响

分别配制浓度为 10%、15%、20%、25%、30% 的淀粉乳, 普鲁兰酶加入量为 8 ASPU / g, 置于 57.5 °C、130 r/min 摇床中振荡 6 h, 其余操作同 2.3。

1.3.3 酶解时间对 SDS 含量的影响

普鲁兰酶加入量为 8 ASPU/g, 置于 57.5 °C、130 r/min 摇床中, 振荡时间分别为 0、3、4、6、8、10、12 h, 其余操作同 2.3。

1.3.4 储藏温度对 SDS 含量的影响

普鲁兰酶加入量为 8 ASPU/g, 储藏温度分别为 -20 °C、0 °C、4 °C、20 °C 下储藏 2 d, 其余操作同 2.3。

1.3.5 储藏时间对 SDS 含量的影响

普鲁兰酶加入量为 8 ASPU/g, 于 4 °C 冰箱中分别储藏 1 d、2 d、3 d、4 d、5 d, 其余操作同 2.3。

1.3.6 酶法制备缓慢消化淀粉正交实验

根据单因素实验结果, 选取三因素三水平做正交实验, 其因素水平见表 1。

表 1 $L_9(3^3)$ 正交实验因素水平设计表

Table 1 Levels of the factors of the $L_9(3^3)$ design for SDS production by enzymatic method

水平	A[普鲁兰酶用量/(ASPU/g)]	B(淀粉乳浓度/%)	C(酶作用时间/h)
1	7	15	3
2	8	20	4
3	9	25	5

1.4 湿热法制备 SDS 工艺条件试验

取小麦淀粉样品制备水分含量为 20%(以干基算)的淀粉乳 50 g, 热处理温度为 120 °C, 处理 1 h, 处

理后的样品在 4 ℃冷藏 12 h, 然后于 60 ℃烘干 16 h 后测定其 SDS 的含量。

1.4.1 湿热处理温度对 SDS 含量的影响

热处理温度分别为 100 ℃、110 ℃、120 ℃、130 ℃、140 ℃, 其余操作同 2.4。

1.4.2 湿热处理时间对 SDS 含量的影响

热处理时间分别为 0.5 h、1 h、1.5 h、2 h、2.5 h, 其余操作同 2.4。

1.4.3 贮存时间对 SDS 含量的影响

分别在 4 ℃冷却 6、12、18、24、48 h, 其余操作同 2.4。

1.4.4 湿热法制备缓慢消化淀粉正交实验

根据单因素实验结果, 选取三因素三水平做正交实验, 其因素水平见表 2。

表 2 L₉(3³) 正交实验因素水平设计表

Table 2 Levels of the factors of the L₉(3³) design for SDS production with moist heat-cooling technology

水平	A (处理温度/℃)	B (处理时间/h)	C (贮存时间/h)
1	110	1	12
2	120	1.5	18
3	130	2	24

2 结果与分析

2.1 酶学方法制备 SDS 的影响因素

2.1.1 普鲁兰酶用量对 SDS 含量的影响

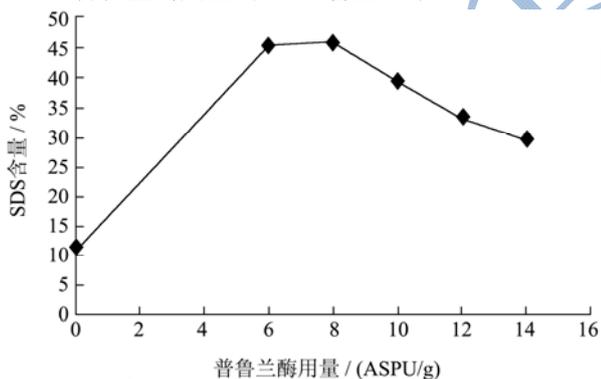


图 2 普鲁兰酶用量对 SDS 含量的影响

Fig.2 Effect of enzyme dosage on the SDS content

由图 2 可以看出, 因此要制得最多 SDS 含量样品的适宜普鲁兰酶用量应为 6 ASPU/mL, 9 ASPU/mL 酶用量小于 6 ASPU/mL 大于 9 ASPU/mL 会造成 SDS 含量的大幅下降。

2.1.2 淀粉乳浓度对 SDS 含量的影响

由图 3 可知, 制备 SDS 适宜的淀粉乳浓度在 15%~25%之间, 在浓度 20%时取得最大值, 最大值为 46.7%。

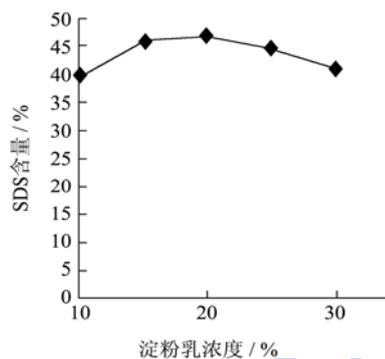


图 3 淀粉乳浓度对 SDS 含量的影响

Fig.3 Effect of starch concentration on the SDS content

2.1.3 酶解时间对 SDS 含量的影响

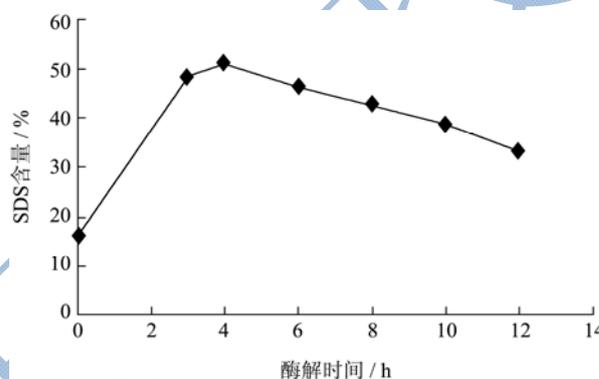


图 4 酶解时间对 SDS 含量的影响

Fig.4 Effect of enzymatic time on the SDS content

由图 4 可知, 当酶解时间小于 4 h 时, 样品中的 SDS 含量随酶解时间的增加而增加, 在酶解时间为 4 h 时取得最大值, 为 50.5%; 当酶解时间大于 4 h 后, 样品中 SDS 含量随时间的增加而减少。因此最适酶解时间在 4 h 左右, 酶解时间过长或过短均对 SDS 的形成有不利影响。

2.1.4 储藏温度对 SDS 含量的影响

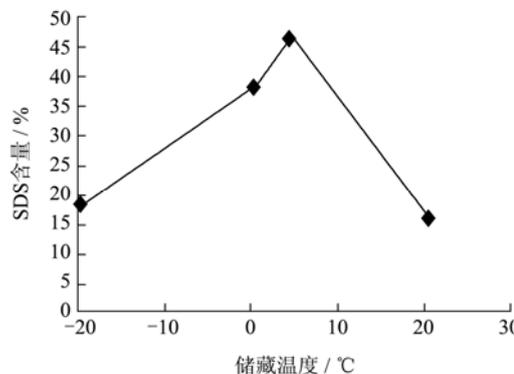


图 5 储藏温度对 SDS 含量的影响

Fig.5 Effect of storage temperature on the SDS content

由图 5 可知, 制得最多 SDS 含量的储藏温度为 4 ℃, 这是由于在 4 ℃的条件下已经脱支的淀粉最容易重结晶形成 SDS。直链淀粉的结晶, 其晶核的形成是一个均匀相成核的过程, 只有在较低的温度下才会

发生；若温度过高，分子的热运动太过剧烈，晶核不易形成或形成的晶核不够稳定，容易被分子热运动所破坏；而如果温度过低，晶核形成后趋向于成熟形成大量的RDS，导致无法形成更多的SDS。

2.1.5 储藏时间对 SDS 含量的影响

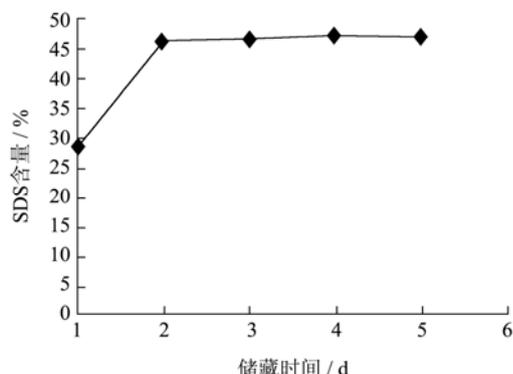


图6 储藏时间对 SDS 含量的影响

Fig.6 Effect of storage time on the SDS content

由图6可知，随着储藏时间的增长，SDS的含量会逐渐增加，而且其增长速率在前2 d非常的快，在超过2 d后则趋于平缓。

2.1.6 酶法制备 SDS 正交实验结果

通过单因素实验，根据其结果分析设计 $L_9(3^3)$ 正交试验（表1）来优化各因素组合，结果如表3所示。

表3 酶法制备 SDS 正交实验结果

Table 3 Results of the $L_9(3^3)$ test for enzymatic method

编号	A	B	C	SDS 含量/%
1	1	1	1	46.2
2	1	2	2	51.3
3	1	3	3	44.5
4	2	1	2	49.5
5	2	2	3	47.5
6	2	3	1	48.2
7	3	1	3	38.8
8	3	2	1	46.9
9	3	3	2	45.1
\bar{K}_1	47.33	44.83	47.10	
\bar{K}_2	48.40	48.57	48.63	
\bar{K}_3	43.60	45.93	43.60	
R	4.80	3.73	5.03	

由表3可知，酶学方法制备小麦 SDS 的最优方案为： $A_2B_2C_2$ ，即酶用量为8 ASPU/mL，淀粉乳浓度为20%，酶解时间为4 h。经实验测得以该条件下制得 SDS 含量为52.8%，大于正交实验中的最大值51.3%。

2.2 湿热法制备 SDS 最优条件

2.2.1 处理温度对 SDS 含量的影响

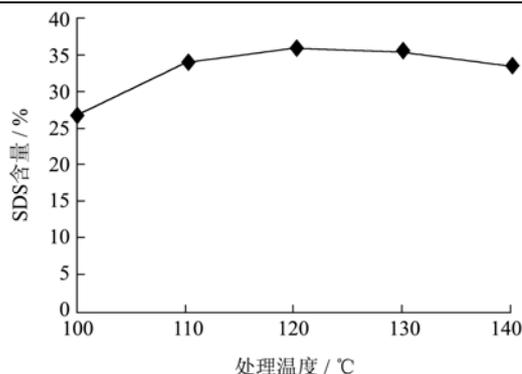


图7 处理温度对 SDS 含量的影响

Fig.7 Effect of treatment temperature on the SDS content

由图7可知，当处理温度处于100~120 °C区间时 SDS 含量随温度升高而升高，在120 °C时 SDS 含量达到35.8%；在温度高于120 °C后随温度升高呈下降趋势。这可能是因为：当处理温度在100~120 °C区间时，淀粉晶体中水分子气化，支链淀粉 α -1,6 键被热能相互作用破坏，同时 α -1,4 键也产生裂解，所以随着温度的升高，键破坏程度就越大。有利于淀粉分子在冷却处理后的重新聚集，形成大量的 SDS；当温度超过120 °C后，其反应温度过高，可能造成淀粉分子过度降解，反而不利用淀粉分子在冷却过程中的聚集，因此使缓慢消化淀粉含量下降。

2.2.2 处理时间对 SDS 含量的影响

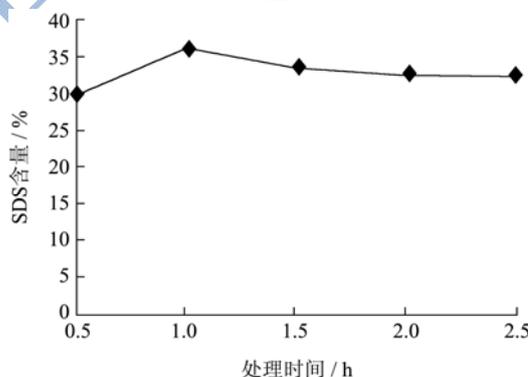


图8 处理时间对 SDS 含量的影响

Fig.8 Effect of treatment time on the SDS content prepared moist heat-cooling technology

由图8可知，当处理时间在1 h以内时，SDS 含量随处理时间的增长而增加，且在处理时间为1 h时样品 SDS 含量达到最大值36.3%；当处理时间大于1 h后，SDS 含量随时间的增长而降低。

2.2.3 贮存时间对 SDS 含量的影响

由图9可知，在前12 h内，SDS 含量增长幅度较大，当贮存时间超过12 h后，SDS 含量变化趋于平稳，在贮存18 h时样品 SDS 含量最大，最大值为36.8%。而且在贮存时间大于18 h后 SDS 含量开始下降。

2.2.4 湿热法制备 SDS 正交实验结果

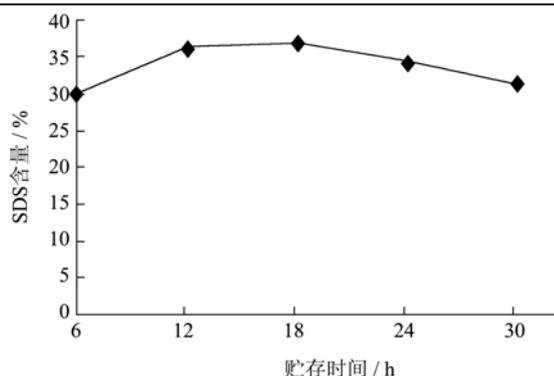


图9 贮存时间对 SDS 含量的影响

Fig.9 Effect of storage time on the SDS content prepared moist heat-cooling technology

通过所进行的 3 个单因素实验, 设计 L₉(3³) 正交试验(见表 2)优化各因素组合。结果如表 4 所示。

表 4 湿热法制备 SDS 正交实验结果

Table 4 Results of the L₉(3⁴) test for SDS production with moist heat-cooling technology

因素	A	B	C	空列	SDS 含量/%
1	1	1	1	1	34.1
2	1	2	2	2	32.8
3	1	3	3	3	29.4
4	2	1	2	3	36.5
5	2	2	3	1	33.1
6	2	3	1	2	32.6
7	3	1	3	2	34.3
8	3	2	1	3	33.8
9	3	3	2	1	31.5
\bar{K}_1	32.10	34.97	33.50	32.90	
\bar{K}_2	34.07	33.23	33.60	33.23	
\bar{K}_3	33.20	31.17	32.27	33.23	
R	1.97	3.80	1.33	0.33	

由表 4 可知, 湿热法制备小麦 SDS 的最优方案未: A₂B₁C₃, 即热处理温度 120 °C, 热处理时间 1 h, 贮存时间 18 h, 经实验测得以该条件下制得 SDS 含量为 36.9%, 大于正交实验中的最大值 36.7%。

3 结论

通过生物酶法可制备出较高含量的小麦缓慢消化淀粉, 各因素对样品中 SDS 含量都有一定影响。随普鲁兰酶用量、淀粉乳浓度、酶解时间和储藏温度的增加, 制得样品中 SDS 含量呈先增大后减小的趋势变化, 而随储藏时间的延长, 样品中 SDS 含量则越大。通过正交实验得到了酶法制备小麦 SDS 的最优工艺条件为: 淀粉乳浓度 20%(干基), 普鲁兰酶用量 8 ASPU/mL, 酶解时间 4 h, 储藏温度 4 °C, 储藏时间

2 d。该条件下制得 SDS 最高含量为 52.8%。

研究湿热法各工艺条件对小麦 SDS 含量的影响。结果表明样品中小麦 SDS 含量随热处理温度的升高、热处理时间和贮存时间的增长呈先增大后减小的规律变化。通过优化实验得到了湿热法制备小麦 SDS 的最优工艺为: 热处理温度 120 °C, 热处理时间 1 h、贮存时间 18 h。该条件下得到 SDS 最高含量为 36.9%。

4 展望

目前国内还没有出现以小麦缓慢消化淀粉为主要原料的保健食品, 希望通过本实验能为相关保健食品的开发奠定基础。以 SDS 为原料开发的保健食品将是心血管疾病、糖尿病及肥胖病人的福音。随着社会的不断发展, 患上富贵病的人数不断上升, 此类产品应具有广阔市场和盈利空间, 成为主流的健康减肥的保健食品。

参考文献

- [1] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46(2): 33-50
- [2] Eerlingen R C, Crombez M, Delcour J A. Quantitative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation. *Cereal Chem*, 1993, 70: 339-344
- [3] 赵凯, 缪铭. 缓慢消化淀粉研究[J]. *现代化工*, 2007, 27(1): 370-372
- [4] 闵伟红, 刘舟, 姜宏宇, 等. 玉米缓慢消化淀粉理化性质研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(15): 26-29
- [5] 岳晓霞, 毛迪锐, 赵全, 等. 玉米淀粉与玉米变性淀粉性质比较研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(5): 116-118
- [6] 张二娟, 何小维, 吴磊, 等. 缓慢消化淀粉的研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2009, 3: 24-26
- [7] 王萍, 陈磊, 曹建伟. 大米缓慢消化淀粉的制备[J]. *中国粮油学报*, 2007, 22(3): 62-64
- [8] 闵伟红, 刘舟, 姜宏宇, 等. 酶法制备玉米缓慢消化淀粉的工艺条件优化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 296-300
- [9] Wolf B W, Bauer L L, Fahey Jr G C. Effects of chemical modification on in vitro rate and extent of food starch digestion: An attempt to discover a slowly digested starch. *J Agric Food Chem*, 1999, 47: 4178 - 4183
- [10] Adler N J. *Enzymatic Hydrolysis of Food Proteins*. Elsevier Applied Science Publisher Ltd. 1986. 13-14
- [11] 罗志刚, 卢静静. 超声处理对玉米淀粉热性质的影响[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(7): 666-668

- [12] Delpeuch F, Favier JC. Characteristics of starches from tropical food plants. Alpha amylase hydrolysis swelling and solubility patterns; Ann Technol Agric, 1980, (29): 53-67
- [13] 杨毅才. 淀粉糊化的过程及影响因素[J]. 农产品加工, 2009, 2:18-19
- [14] Zhang G, Sofayan M, Hamaker B R. Slowly digestible state of starch: mechanism of slow digestion property of gelatinized maize starch. Agri Food Chem, 2008, 57: 4695-4702

现代食品科技