

· 实验研究 ·

营养保健甘薯汁制备工艺的优化

李贤宇¹ 李 栋¹ 周 博¹ 宋 翔¹ 梁红敏²

(1 天津渤海职业技术学院 天津 300402 2 山东农业大学食品科学与工程学院 山东 泰安 271018)

摘要 目的 优化营养保健甘薯汁的制备工艺。方法 本研究以甘薯为原料,在加酶量、作用时间、反应温度、pH 及底物浓度五个单因素试验的基础上采用响应面分析法,以甘薯浆中还原糖量为评价指标,对耐高温 α -淀粉酶酶解甘薯浆中淀粉的最佳工艺进行了研究,并利用统计学方法建立了耐高温 α -淀粉酶酶解甘薯浆中淀粉的二次多项数学模型。结果:最佳酶解条件为:加酶量 480U/g,作用时间 90min,反应温度 77℃,pH 值 6.0,底物浓度 2.6g/10ml。结论 在最佳酶解条件下,甘薯中还原糖最大估计值为 13.97345%,实测值为 $(13.968 \pm 0.05)\%$ 。

关键词 甘薯 淀粉 耐高温 α -淀粉酶 响应面

中图分类号 S53,Q814.9 **文献标识码** A **文章编号** 1673-6273(2011)17-3270-05

Optimization of the Preparation Technology of Nutritional Sweet Potato Juice

LI Xian-yu¹, LI Dong¹, ZHOU Bo¹, SONG Xiang¹, LIANG Hong-min²

(1 Tianjin Bohai Vocational Technical College, Tianjin 300402;

2 College of Food Sciences And Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

ABSTRACT Objective: To optimize the preparation technology of Nutritional sweet potato juice sweet potato. **Method:** Based on single-factor experiments including factors such as thermostable α -amylase dosage, time, temperature, pH and substance concentration in sweet potato starch hydrolysis, the response surface methodology was adopted with reducing sugar amount as evaluating indicator to optimize the process. **Results:** The optimum hydrolysis parameters are enzyme dosage 480 U/g, time 90 min, temperature 77℃, pH 6.0 and substance concentration 2.6g/10ml. **Conclusions:** The value of reducing sugar is 13.97345 % at the optimum conditions, and the measured value is $(13.968 \pm 0.05)\%$ %.

Key Words: Sweet potato; Starch; thermostable α -amylase; Response surface methodology

Chinese Library Classification(CLC): S53, Q814.9 **Document code:** B

Article ID: 1673-6273(2011)17-3270-05

前言

甘薯(Ipomoea batatas Lam.)是旋花科一年生草本植物,通常也称白薯、番薯、红苕、红薯、山芋、地瓜等。目前,全国甘薯无论种植面积还是年产量均居世界首位,产量在 1 亿吨以上,仅次于水稻、小麦和玉米^[1-3]。甘薯营养丰富,养分平衡,被世界卫生组织(WHO)评选为最佳食品之一。具有维持正常的视觉功能、抗菌、抗肿瘤、抗突变、抗氧化、降血脂、降胆固醇、降血糖及免疫增强、增强血小板等功效作用^[4-8]。随着人们生活水平的提高,甘薯的保健作用逐渐被人们重视,已成为为人们普遍喜爱的绿色食品、营养食品和保健食品。

目前,我国的甘薯加工大多处在初加工阶段,精加工和深加工的产品较少,而且加工工艺简单,加工设备落后,科技含量和附加值低。加工企业多属中小企业,不少还是前店后厂的作坊式加工。因此,总体来说加工水平有待于进一步提高^[8]。本文以甘薯为原料,采用耐高温 α -淀粉酶在单因素试验的基础

上,运用响应面分析法,对耐高温 α -淀粉酶酶解甘薯浆中淀粉的条件进行研究和优化,旨在解决淀粉引起的甘薯饮料稳定性问题,为实现规模化生产具有营养保健功能的甘薯饮料提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄皮黄心甘薯(购自泰安农贸市场)。耐高温 α -淀粉酶(南宁东恒华道生物科技有限责任公司)

1.2 试验方法

1.2.1 还原糖的测定 DNS 比色法⁹,获得标准曲线方程 $y=1.6442x+0.0331$, $R^2=0.9972$ 。

1.2.2 单因素试验 将耐高温 α -淀粉酶加入甘薯浆中,进行酶解条件的单因素试验,考察耐高温 α -淀粉酶的加入量,作用时间,反应温度,pH 值,底物浓度五因素对甘薯淀粉酶解后还原糖得率的影响。

1.2.3 PB 试验设计 根据单因素试验及 PB 试验设计原理,选用 $n=15$ 的 PB 设计,研究 5 个试验因子对甘薯中淀粉酶解后还原糖得率的影响。试验因素水平见表 1。

作者简介 李贤宇,男,(1979),天津渤海职业技术学院,讲师,主要从事生物制品开发方面的研究。

Email: lxy_jjxc@sohu.com, tjlixianyu@126.com

(收稿日期 2011-03-10 接受日期 2011-03-30)

表 1 PB 设计试验因素水平

Table 1 Factors level of PB design experimental

因素	A ₁ 酶加量 /U/g	A ₂ 酶解时间 /min	A ₃ 酶解温度 /℃	A ₄ pH 值	A ₅ 底物浓度 g/10ml
Factor	Amount added Enzyme	Zymolysing time	Zymolysing Tem	pH Value	Substrate concentration
-1	360	80	70	6.0	1
0	480	90	75	6.5	2
1	600	100	80	7.0	3

2 结果

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 酶量对甘薯浆中还原糖量的影响 取甘薯加水打浆,煮沸,糊化 30min,反应温度为 85℃,样液 pH 为 5.73,分别按加入酶量 120,240,360,480,600U/g 加入耐高温 α - 淀粉酶,反应 50min 后灭酶,结果见图 1。由图 1 可知,随着酶用量的增加,甘薯淀粉水解生成的还原糖含量逐渐增加,当酶用量为 480U/g 时,还原糖质量分数达最大 12.07%之后还原糖生成量不再明显变化。因此,水解甘薯淀粉适宜酶用量为 480U/g。

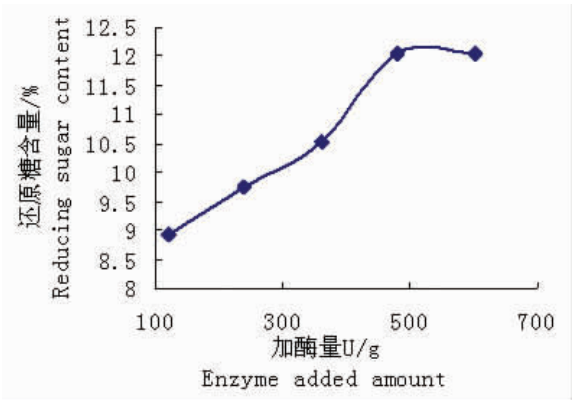


图 1 加酶量对甘薯中还原糖量的影响

Fig.1 Effects of enzyme dosage on reducing sugar in sweet potato

2.1.2 酶解时间对甘薯浆中还原糖量的影响 固定其它条件不变,酶解 30,50,70,90,110min 反应后灭酶,结果见图 2 从图 2 知,试验开始后的 90min 内,随水解时间的增加还原糖生成量较快地增加到 90min 时还原糖的质量分数达到 12.23%,从 90min 到 110min 还原糖含量增加缓慢,水解基本趋于稳定。试验结果将水解时间定为 90min。

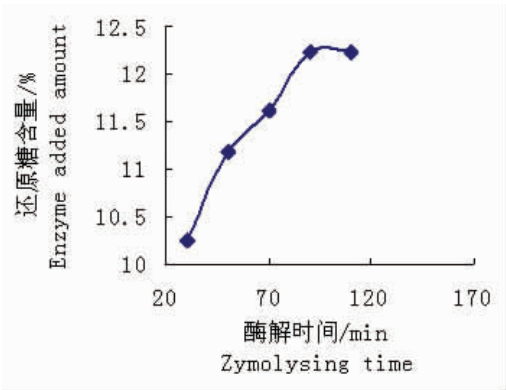


图 2 酶解时间对甘薯中还原糖量的影响

Fig.2 Effects of time on reducing sugar in sweet potato

2.1.3 酶解温度对甘薯浆中还原糖量的影响 固定其它条件不变,反应温度 65,70,75,80,85℃ 反应后灭酶,结果见图 3。从图 3 知酶解温度从 65℃ 升到 85℃ 过程中,酶解温度为 75℃ 时酶解所得还原糖含量最高为 12.58%。

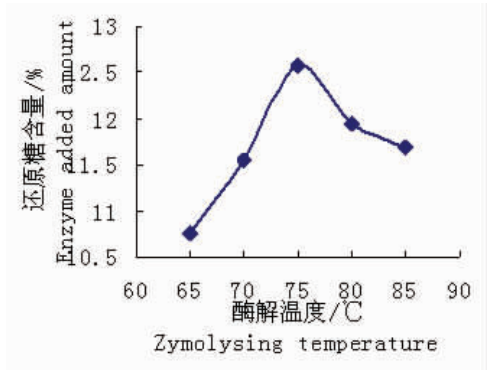


图 3 酶解温度对甘薯中还原糖量的影响

Fig.3 Effects of temperature on reducing sugar in sweet potato

2.1.4 pH 对甘薯浆中还原糖量的影响 固定其它条件不变,样液 pH 为 5.0,5.5,6.0,6.5,7.0 反应后灭酶,结果见图 4。从图 4 可以看出,pH 低于 6.5 时,还原糖量逐渐增加,当 pH 值为 6.5 时,甘薯淀粉水解生成还原糖的质量分数最大,为 13.52%。之后,还原糖量随 pH 的增加而降低。试验结果表明,耐高温 α - 淀粉酶水解甘薯淀粉的最适 pH 值为 6.5。

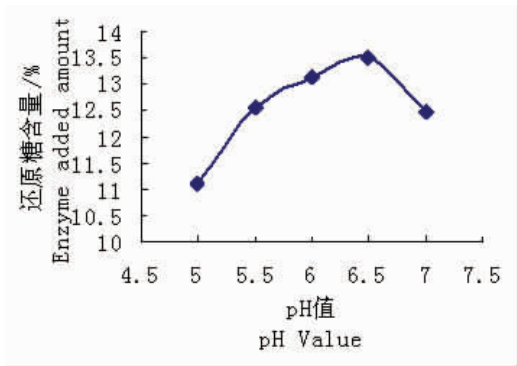


图 4 pH 值对甘薯中还原糖量的影响

Fig.4 Effects of pH on reducing sugar in sweet potato

2.1.5 底物浓度对甘薯浆中还原糖量的影响 固定其它条件不变,分别按甘薯浓度为 1g/10ml,2g/10ml,3g/10ml,4g/10ml,5g/10ml 打浆,酶解 90min 后灭酶,结果见图 5。从图 5 可知,随着底物浓度的增加,还原糖含量逐渐降低,当底物浓度达到 2g/10ml 时,甘薯淀粉水解反应明显降低,此时还原糖量为 13.65%。当底物浓度较低时,酶和底物充分接触,则生成的还原糖相应比较高。试验确定耐高温 α - 淀粉酶水解甘薯淀粉适宜的底物浓度为 2g/10ml。

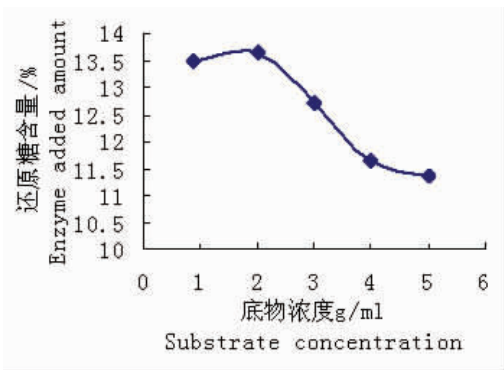


图5 底物浓度对甘薯中还原糖量的影响

Fig.5 Effects of substance concentration on reducing sugar in sweet potato

2.2 PB 试验结果

对影响酶作用条件的五因素(加酶量,时间,温度,pH,底

物浓度)进行研究,按表 1 所示的因素水平表进行分析试验,结果如表 3。对表 3 的试验结果进行方差分析,可以发现各处理间的差异显著($P=0.015<0.05$)。对各因素进行回归分析可知,有三个因素在试验设计的水平上对试验结果 Y 的影响都显著。根据表 3 结果可以得出拟合方程 (2),模型的拟合性良好(Adj R-sq=89.49%)。

$$y=12.6523-0.0115X_1+0.1235X_2+0.2144X_3-0.2565X_4+0.3502X_5 \quad (1)$$

从方程(1)可以看出,对试验结果产生显著影响的 3 个因素当中, A_5 对试验结果的影响最大,其次 A_4 、 A_3 对试验结果的影响最小; A_3 、 A_5 的系数为正数,说明在试验所选择的范围内 Y 值随 A_3 和 A_5 值的增大而增大; A_4 的系数为负值,表明这个因素对试验的结果会产生负面影响,Y 值随着 A_4 的增大而减小。

表 3 耐高温 α -淀粉酶酶解甘薯中淀粉 PB 试验设计与结果

Table 3 PB experiment design and results of thermostable -amylase in sweet potato starch hydrolysis

试验号 Run	a1	a2	a3	a4	a5	还原糖含量 /% Reducing sugar conten
1	1	-1	1	-1	-1	12.80
2	1	1	-1	1	-1	11.81
3	-1	1	1	-1	1	13.54
4	1	-1	1	1	-1	11.83
5	1	1	-1	1	1	13.06
6	1	1	1	-1	1	13.31
7	-1	1	1	1	-1	12.62
8	-1	-1	1	1	1	13.11
9	-1	-1	-1	1	1	11.95
10	1	-1	-1	-1	1	13.04
11	-1	1	-1	-1	-1	12.32
12	-1	-1	-1	-1	-1	12.45
13	0	0	0	0	0	13.93
14	0	0	0	0	0	13.93
15	0	0	0	0	0	13.92

2.3 响应面法优化甘薯淀粉酶解工艺

2.3.1 响应面分析方案及试验结果 选择酶解温度 (X)₁、pH (X)₂、底物浓度 (X)₃ 3 个因素,采用 Box-Benhknen 进行设计,响应面分析方案及试验结果分别见表 4。实验 1~12 为析因

实验,12~15 为中心实验。其中析因点为自变量取值 X_1 、 X_2 、 X_3 所构成的三维顶点,零点为区域的中心点,零点实验重复 3 次,用来估计实验误差。

表 4 响应面分析方案及试验结果

Table 4 Response surface analysis and test results

实验号 Run	酶解温度 /℃ Zymolysing Tem	pH 值 pH Value	底物浓度 g/10ml substrate concentration	还原糖含量 (%) Reducing sugar conten
1	-1 (75)	-1 (5.7)	0 (2.5)	13.14
2	1 (79)	-1	0	13.4
3	-1	1 (6.5)	0	13.36
4	1	1	0	13.28
5	-1	0 (6.1)	1 (3)	13.22
6	1	0	-1 (2)	13.32
7	-1	0	1	12.67
8	1	0	1	12.92
9	0 (77)	-1	-1	12.6

从图6中可以看出,在任何两个因素之间都存在一个最佳交互水平,甘薯中还原糖含量存在一个预测最大值。

采用规范形分析考察拟合曲面,回归模型存在稳定点,稳定点为最大值, Y_1 的最大估计值 13.97345, 对应编码值 X_1 (0.029528)、 X_1 (-0.14157)、 X_1 (0.195402)。各因素的编码值转化为实际值,分别是酶解温度 77.059℃、pH 值 6.043、底物浓度 2.6 g/10ml。考虑到试验的实施情况,将上述 3 个因素的实际水平分别酶解温度 77℃、pH 值 6.0、底物浓度 2.6g/10ml。

在最佳条件下酶解,对此进行了重复 6 次验证试验,验证试验的平均值 (13.968 ± 0.05) 很接近回归方程所得的最高还原糖含量的预测值 (13.97345),表明响应面法优化得到的数学模型与试验数据拟合的较好,回归方程能够比较真实地反映各筛选因素对还原糖得率的影响。

3 讨论

目前甘薯加工种类很多,但营养保健甘薯汁饮料的发展却受到原料或技术的原因而受到制约,关于甘薯饮料加工工艺的研究报道已有不少,但都未较好的解决其稳定性问题^[14-16]。其主要原因是甘薯富含淀粉,糊化的淀粉易老化产生混浊或分层沉淀,且不易过滤,制成饮料后稳定性差。添加稳定剂来提高甘薯的稳定性方法效果也不是十分理想,且影响了甘薯饮料的原始风味^[17-18]。且目前的研究多集中与白瓢甘薯及紫甘薯饮料制备^[19-20]。研究表明添加 α -淀粉酶有力甘薯汁的稳定性,但只考虑了酶浓度和酶解时间两个因素,工艺参数不够全面^[14]。深入进行黄瓢甘薯营养保健饮料制备工艺研究,解决淀粉引起的甘薯饮料稳定性问题,为实现规模化生产具有营养保健功能的甘薯饮料提供一定的理论基础,促进甘薯饮料迅速、规模化发展具有重要意义。本研究通过单因素实验、PB 实验、BB 实验进行了营养保健甘薯汁制备工艺优化,主要结果:

(1) 通过 PB 及 BB 试验设计及数学统计,建立甘薯淀粉酶解数学模型。回归模型拟合及方差分析表明,影响甘薯淀粉酶解率的主要因素依次是:底物浓度、酶解 pH、酶解温度。回归方程具有较好的拟合度 ($R^2=87.57\%$ 、 $P>|T|<0.05=0.018691$) 及试验具有较高的可靠性及精密度 ($CV=1.956349$),可以用该回归模型代替真实试验点进行分析,对于甘薯饮料工业化开发具有较强的指导意义。

(2) 对回归方程的优化计算,得到最佳提取工艺条件:加酶量 480U/g, 时间 90min, 温度 77℃, pH 值 6.0, 底物浓度 2.6g/10ml。

(3) 采用数学统计方法甘薯淀粉酶解条件进行系统优化,不仅快速有效,而且科学合理、结果准确可靠。

参考文献 (References)

- [1] 张余,李敏,贾小丽,等.甘薯资源的综合利用[J].粮食与食品工业, 2009, (1):22-24
Zhang Cuan, Li Min, Jia Xiao-li, et al. Comprehensive utilization of sweet potato resources[J]. Cereal and Food Industry, 2009, (1):22-24
- [2] 秦宏伟.甘薯功能性成分研究进展[J].泰山学院学报, 2010, 32(3): 110-113
Qin Hong-wei. Research Progress of Functional Ingredients on Sweet Potato [J]. Journal of Taishan University, 2010, 32(3): 110-113

- [3] 江阳,孙成均.甘薯的营养成分及其保健功效研究进展[J].中国农业科技导报, 2010, 12(4): 56-61
Jiang Y, Sun CJ. Advances in Studies on Nutritious Components of Sweet Potato and their Health-promoting Functions [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, 12(4): 56-61
- [4] Bovell BAC. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition [J]. Adv. Food Nutr. Res., 2007, 52: 1-59
- [5] Parsons TD, Kpatz KM, Thompson E. DHEA supplementation and cognition in postmenopausal women [J]. Intern. J. Neuro-science, 2006, 116: 141-155
- [6] Yoshimoto M. New Trends of Processing and Use of Sweet potato in Japan[J]. Farming Japan, 2001, 1:35-36
- [7] Taiwo KA, Baik OD. Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40:661-66
- [8] 李政浩,罗仓学.甘薯生产现状及其资源综合应用[J].陕西农业科学, 2009, (1):77-80
Li Zheng-hao, Luo Cang-xue. Sweet potato production situation and resources comprehensive application[J]. Shaanxi agricultural science, 2009, (1):77-80
- [9] 李捷.甘薯加工产业现状及趋势[J].经营管理者, 2010,(9):81
Li Jie. Status and Trends for Sweet potato processing industry [J]. Management, 2010,(9):81
- [10] 王宪泽.生物化学实验技术原理和方法[M].中国农业出版社,北京, 2002:78-79
Wang Xian-ze. Biochemistry experiment technology principle and method [M]. China Agriculture Press, 2002:78-79
- [11] Dhanya G, Swetha S, Nampoothiri KM, et al. Response surface methodology for the optimization of alpha amylase production by Bacillus amyloliquefaciens [J]. Bioresource Technol, 2008, 11: 4597-4602
- [12] Zhu CH, Lu FP, Han ZL, et al. Statistical Optimization of Medium Components for Avilamycin Production by Streptomyces viridochromogenes Tu57-1 Using Response Surface Methodology[J]. J. Ind Microbiol Biot, 34 (2007) 271-278
- [13] Myers RH, Montgomery DC, Anderson CCM. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995, 260-264
- [14] 李春阳,张红城,李建军,等.酶处理工艺对紫心甘薯饮料品质的影响[J].江苏农业学报, 2008, 24(1):80-84
Li Chun-yang, Zhang Hong-cheng, Li Jian-jun, et al. Effect of Enzymatic Hydrolysis on Quality of Purple Sweet Potato [J]. Jiangsu J. of Agr. Sci, 2008, 24(1):80-84
- [15] 周丽艳,康维民,刘绍军.提高甘薯饮料稳定性的研究[J].食品工业科技, 2003, 24(8):35-37
Zhou Li-yan, Kang Wei-min, Liu Shao-jun. Improve the stability of sweet potato beverage [J]. Journal of food industry science and technology, 2003, 24(8):35-37
- [16] Rodriguez LE, Giusti MM, Wrolstad RE. Color and pigment stability of red radish and red-fleshed potato anthocyanins in juice model system[J]. Food Sci, 1999, 64:451-45
- [17] 伍军,孙团,朱明丽.红薯饮料澄清工艺条件及模型的研究[J].粮油加工与食品机械, 2004, 24(8):58-60

(下转第 3292 页)

教育的基础上,还应该对该病进一步评估和采取干预措施^[14],使患者了解哮喘性质,使他们树立长期战胜该病的信心,并为今后哮喘的发作做好防范,及应急措施。

参考文献(References)

- [1] Busse WW, Israel E, Nelson HS, Baker JW, Charous BL, Young DY, Vexler V, Shames RS. Daclizumab improves asthma control in patients with moderate to severe persistent asthma: a randomized, controlled trial[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2008, 178: 1002-1008
- [2] 支气管哮喘防治指南[J]. 中华哮喘杂志(电子版), 2008, 2(1): 3-13
Prevention and guide of asthma[J]. Asthma Journal of China(electronic edition), 2008, 2(1): 3-13
- [3] McIvor RA, Boulet LP, FitzGerald JM, Zimmerman S, Chapman KR. Asthma control in Canada. No improvement since we last looked in 1999[J]. Can Fam Physician, 2007, 53: 672-677
- [4] Anthony D, Durzo, MD MSc CCFP FCFP. Asthma management in the real world: The perils of simplicity [J]. Can Fam Physician, 2007, 53 (4): 673-677
- [5] Grethe Elholm, yvind Omland, Vivi Schl  nssen, et al. The cohort of young Danish farmers - A longitudinal study of the health effects of farming exposure[J]. Clin Epidemiol, 2010, 2: 45-50.
- [6] 王继伟. 正确治疗哮喘 让呼吸更顺畅[N]. 徐州日报, 2008, 04, 29, 3.
Wang Ji-wei. The correct treatment of asthma to breathe more smoothly [N]. Xuzhou Daily, 2008, 04, 29, 3
- [7] Raherison C, Abouelfath A, Le Gros V, Taytard A, Molimard M. Underdiagnosis of nocturnal symptoms in asthma in general practice[J]. J Asthma, 2006, 43(3): 199-202
- [8] Feng-Yan Shen, Myeong Soo Lee, Sung-Ki Jung. Effectiveness of pharmacopuncture for asthma: a systematic review and meta-analysis [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2010, 2011: 1-7
- [9] 钟南山, 郑劲平, 刘晓. 吸入沙美特罗替卡松干粉与联合吸入两种干粉剂治疗成人哮喘的疗效和安全性的对照研究[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2002, 17(6): 105
Zhong Nan-shan, Zheng Jin-ping, Liu Xiao. Controlled study of efficacy and safety in adult asthma using inhalation ossalmeterol and fluticasone propionate inhalation powder and two kinds of dry powder combined treatment [J]. Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2002, 17(6): 105
- [10] 杜明辉, 赵森. 支气管哮喘控制临床应用研究分析[J]. 临床研究, 2010, 48(9): 22-24
Du Ming-hui, Zhao Sen. Clinical analysis of asthma control[J]. Clinical Research, 2010, 48(9): 22-24
- [11] 尹辉明, 许燕山, 金丽花, 等. 基层医院支气管哮喘规范化治疗的推广[J]. 医学临床研究, 2003, 20(12): 957-958
Yin Hui-ming, Xu Yan-shan, Jin Li-hua, et al. To promote standard treatment of bronchial asthma in primary hospitals [J]. Journal of Clinical Research, 2003, 20(12): 957-958
- [12] Schatz M, Mosen D, Apter AJ, Zeiger RS, Vollmer WM, Stibolt TB, Leong A, Johnson MS, Mendoza G, Cook EF. Relationships among quality of life, severity, and control measures in asthma: an evaluation using factor analysis [J]. Allergy Clin Immunol, 2005, 115 (5): 1049-1055
- [13] An-Soo Jang, Sung-Woo Park, Do-Jin Kim, etc. Effects of Smoking Cessation on Airflow Obstruction and Quality of Life in Asthmatic Smokers[J]. Allergy Asthma Immunol Res, 2010, 2(4): 254-259
- [14] Parthasarathi Bhattacharyya, Rantu Paul, Saikat Nag, etc. Treatment of asthma: Identification of the practice behavior and the deviation from the guideline recommendations [J]. Lung India, 2010, 27 (3): 141-144
- (上接第 3274 页)
- Wu Jun, Sun Nan, Zhu Ming-li. Sweet potato beverage quota, clarify process condition and model [J]. Journal of grain and oil processing and food machinery, 2004, (8): 58-60
- [18] 张旭林, 马俊超, 曹梦霞. 甘薯汁饮料的研制[J]. 粮食与食品工业, 2004, 11(1): 35-39
Zhang Xu-lin, Ma Jun-chao, Cao Meng-Xia. Sweet potato juice drinks [J]. Food and food industries, 2004, (1): 35-39
- [19] 母丽萍, 雷激, 李博, 等. 紫甘薯饮料制备工艺研究 [J]. 食品科学, 2010, 20: 513-517
Mu Li-ping, Lei Ji, Li Bo, et al. Development of a Purple Sweet Potato Beverage[J]. Food Science, 2010, 20: 513-517
- [20] 方忠祥, 倪元颖. 紫肉甘薯饮料后混浊成分分析和控制[J]. 食品科技, 2004, 25(5): 50-52
Fang Zhong-xiang, Ni Yuan-ying. Purple sweet potato beverage flesh after cloudy component analysis and control [J]. Journal of food science and technology, 2004, 25 (5): 50-52