

马铃薯淀粉疏水化改性研究

潘春娇, 方健, 魏洁, 蔡源春, 陈艳萍, 周佳乐

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 通过正交实验找到淀粉疏水化改性的最佳实验方案和工艺条件。 **方法** 利用氧化法、交联法和酯化法对马铃薯淀粉进行疏水化改性;利用正交设计助手(Ⅱ)3.1筛选出制备改性淀粉的最佳实验条件组合,得到吸水率和黏度性能的最优方案为交联法;用SPSS13.0进一步对交联法实验数据进行单因素分析和方差分析。 **结果** 交联改性将马铃薯淀粉的吸水率降低了43.44%,在液体石蜡中的黏度降低了70.54%;综合考虑吸水率和黏度等2个指标及实际可操作性,得到最佳工艺条件:水浴温度为55℃,pH值为11,环氧氯丙烷和淀粉干基的质量比为1.5:100,此时得到的疏水化改性淀粉吸水率为20.96%,黏度为156 mPa·s。 **结论** 制备疏水化改性淀粉的最佳方法为交联法,并得到了最佳工艺条件,为提高淀粉疏水化性能的研究提供了依据。

关键词: 马铃薯淀粉;疏水化改性;交联法;氧化法;酯化法

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0037-06

Hydrophobic Modification of Potato Starch

PAN Chun-jiao, FANG Jian, WEI Jie, CAI Yuan-chun, CHEN Yan-ping, ZHOU Jia-le

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: To find the best experimental scheme and technological conditions for hydrophobic modification of potato starch. The experiment utilized oxidation, cross-linking and esterification methods for hydrophobic modification of potato starch. Orthogonal design assistant (II) 3.1 was used to screen the optimal combination of experimental conditions and the cross-linking method was found to be the best method after analyzing the water absorption and viscosity performance. SPSS13.0 was used to further analyze study the data coming from cross-linking experiments through single factor and variance analysis. After cross-linking modification, the water absorption rate of potato starch was decreased by 43.44%, and the viscosity in liquid paraffin was reduced by 70.54%. After overall consideration of water adsorption, viscosity and practical feasibility, the optimal process condition was determined to be: water bath temperature 55℃, pH 11, quality ratio of epoxy-chloropropane to dry basis of starch 1.5:100. Under this process condition, the water absorption of the modified starch was 20.96%, and the viscosity was 156 mPa·s. The best method for hydrophobic modification of potato starch was the cross-linking method. The optimal process condition was obtained, which provided reference for the research on improving the hydrophobicity of starch.

KEY WORDS: potato starch; hydrophobic modification; cross-linking method; oxidation method; esterification method

淀粉是一种来源丰富、无毒无害、可完全生物降解的环保材料,但因其主要由含多个羟基的葡萄糖单元组成,因而具有一定的亲水性,使得天然淀粉在多方面的应用受限。实践证明,通过化学、物理或生

物等方法,可以将天然淀粉深加工成性能优良、品种繁多的淀粉衍生物,完成淀粉的疏水化改性。疏水化改性的淀粉是性质优良的成膜材料,可与壳聚糖等成膜性良好的材料复合成膜,广泛应用于果蔬、食

收稿日期: 2014-03-06

基金项目: 北京高等学校青年英才计划(YETP0761);北京林业大学大学生创新创业计划(X1310022042)

作者简介: 潘春娇(1990—),女,河北沧州人,北京林业大学本科生,主攻功能性包装材料。

通讯作者: 方健(1978—),女,山东龙口人,北京林业大学副教授,主要研究方向为功能性包装材料。

品和药品等产品包装领域,大大延长了包装内容物的保质期,减少了资源和经济损失,具有巨大的发展潜力。

采用交联法、酯化法和氧化法等 3 种方法对马铃薯淀粉进行疏水化改性,并结合正交实验设计分析方法及相关软件对实验结果进行分析,以期能找到疏水化改性淀粉的最佳工艺,为提高淀粉疏水化性能的研究提供依据。

1 实验

1.1 材料和仪器

材料:马铃薯淀粉,北京奥博星生物技术有限责任公司;冰醋酸、甘油、环氧氯丙烷、丁二酸酐、过氧化氢(H₂O₂,质量分数 30%)和盐酸,北京化工厂,分析纯;液体石蜡,西隆化工股份有限公司,化学纯。

仪器:电热鼓风干燥箱(DHG-9075A),上海一恒科学仪器有限公司;电热恒温水浴锅(DZKW-D-4),JJ-1 精密增力电动搅拌器(JJ-1.100W),北京市永光明医疗仪器厂;电子天平(JA2003N),上海精密科学仪器有限公司;小型搅拌脱泡机(TP-0.8),北京东方泰阳系统技术有限公司;手动刮膜机,天津市博悦机械加工厂;旋转黏度计(BROOKFIELD-DV-Ⅱ)。

1.2 方法

实验中采用交联法^[1-3]、氧化法^[4]和酯化法^[5-7]等 3 种改性方法,对马铃薯淀粉进行疏水化^[2]改性,且均采用三因素三水平正交实验方案。

在交联法中,配制质量分数为 35%的马铃薯淀粉乳,用氢氧化钠(质量分数为 10%)溶液调节所需 pH 值,在一定温度下保温搅拌,将环氧氯丙烷(交联剂)按一定质量缓慢滴加至淀粉乳中。交联过程中,将 pH 值控制在一定值。反应 3 h 后,得到胶状交联改性淀粉,进一步真空脱泡 40 min、干燥、研磨得到粉末状交

联改性淀粉。

氧化法按交联法相同的方法配制淀粉乳并调节 pH 值,之后缓慢滴加质量分数为 30%的相应量的过氧化氢溶液,滴加完毕后,反应 35 min,保持 pH 值恒定。反应完成后,所得产品经过离心、分离、洗涤和烘干即得氧化淀粉。

酯化法采用丁二酸酐为酯化试剂进行疏水化改性,其他步骤如淀粉乳配制、pH 值调节、反应时间控制等同于氧化法。

1.3 性能测试

1) 改性淀粉吸水率测定。将研磨成粉状的淀粉在 120 ℃的烘箱中脱水处理 3 h,将各组质量为 m_1 的改性淀粉同时放入敞口小烧杯中,再放入盛有饱和硝酸钾的干燥器中进行吸水率测试。3 d 后取出测量吸水后淀粉的质量为 m_2 。淀粉的吸水率为:

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

式中: w 为吸水率(%); m_2 为吸水后的质量(g); m_1 为吸水前的质量(g)。

2) 改性淀粉黏度测定。疏水性是指疏水物分子与水互相排斥的物理性质,大多数的疏水物通常也是亲脂性的,即“疏水即亲油”原理,因此,选择测试改性淀粉在液体石蜡中的黏度来反映淀粉的疏水性能。

将 3 种改性淀粉干基溶于液体石蜡溶液中,配制成淀粉干基质量浓度为 0.1 g/mL 的乳液,用旋转黏度计测试,测试时室温为 15.2 ℃、转速为 20 r/min。

1.4 正交实验设计

3 种改性方法用的水平因素见表 1。

按照正交设计助手(Ⅱ)3.1^[8]设计得到的正交实验方案进行实验,通过 3 种方法改性马铃薯淀粉,分别得到了改性淀粉的吸水率和黏度。正交实验设计和实验结果见表 2。

表 1 实验因素水平
Tab.1 Levels and factors in the designed experiment

	因素 A(反应温度/℃)			因素 B(pH 值)			因素 C(改性剂用量)		
	交联法	氧化法	酯化法	交联法	氧化法	酯化法	交联法 ^①	氧化法 ^②	酯化法 ^③
水平 1	60	30	27	9	5	8	1:100	30	1:100
水平 2	55	35	35	11	7	10	1.5:100	40	1.5:100
水平 3	50	40	40	13	9	12	1:50	50	1:50

注:①环氧氯丙烷质量与淀粉干基质量之比;②100 g 淀粉干基中加入双氧水的体积(mL);③丁二酸酐质量与淀粉干基质量之比。

表2 正交设计方案及实验结果
Tab.2 Design and results of the orthogonal experiment

编号	因素A (反应温度)	因素B (pH值)	因素C (改性剂用量)	空白列	吸水率/%			黏度/(mPa·s)		
					交联法	氧化法	酯化法	交联法	氧化法	酯化法
1	1	1	1	1	25.08	26.15	27.32	168	375	309
2	1	2	2	2	24.90	26.53	26.48	142	310	298
3	1	3	3	3	26.32	26.92	27.39	178	335	315
4	2	1	2	3	23.58	25.62	25.38	157	312	324
5	2	2	3	1	20.05	22.94	23.77	120	279	252
6	2	3	1	2	22.93	25.43	24.65	126	309	341
7	3	1	3	2	23.14	24.52	26.67	198	354	363
8	3	2	1	3	22.04	24.98	26.80	178	324	232
9	3	3	2	1	24.25	25.93	25.61	206	367	354

1.5 数据分析

利用正交设计助手(Ⅱ)3.1对3种改性方案进行极差分析^[9],再利用SPSS13.0^[10-13]进行单因素分析和方差分析。

2 结果分析

2.1 最佳改性方法确定

2.1.1 极差分析

利用正交设计助手(Ⅱ)3.1对交联法中各因素进行极差分析。交联法改性淀粉中各因素对其吸水率和黏度影响的直观分析见表3。对表3中的极差*R*分析可知,3个因素对结果的影响程度由大到小为因素A、因素B、因素C。即按主要到次要分别为温度、pH值、改性剂用量;并且由于实验目的是降低淀粉的吸水率^[14]和黏度^[7,15-16],即取每个因素对应均值的最小值,因此,使得吸水性降低的最佳组合为A₂B₂C₃;使得黏度降低的最佳组合为A₂B₂C₁。

氧化法改性淀粉中各因素对其吸水率和黏度影响的直观分析结果见表4。对表4中的极差*R*分析可知,3个因素对结果的影响程度由大到小为因素A、因素B、因素C。即按主要到次要分别为温度、pH值、改性剂用量。可得疏水化改性最优组合为A₂B₂C₃。

酯化法改性淀粉中各因素对其吸水率和黏度影响的直观分析结果见表5。对表5中的极差*R*分析可知,3个因素对结果的影响程度由大到小为因素A、因素B、因素C。即按主要到次要分别为温度、pH值、改性剂用量。可得疏水化改性最优组合为A₂B₂C₂。

2.1.2 预测方案验证实验

将3种改性方法的最优组合进行实验验证,并将其吸水率和黏度进行比较,见图1,得到最佳改性方法为交联法。

2.2 交联法实验结果分析

2.2.1 单因素分析

以上用正交设计助手(Ⅱ)3.1对3种改性方法进行分析之后,得到了其中最优的实验方法为交联法,下面用SPSS13.0对交联法进行单因素和方差分析,优

表3 交联法改性淀粉中各因素对其吸水率和黏度影响的直观分析

Tab.3 Visual analysis of influence of factors on the water absorption and viscosity in starch modification using the cross-linking method

因变量	吸水率/%				黏度/(mPa·s)			
	温度一定	pH值一定	交联剂用量一定	空白列	温度一定	pH值一定	交联剂用量一定	空白列
指标均值 <i>K</i> ₁	25.43	23.93	23.35	23.35	109.33	177.67	154.00	164.67
指标均值 <i>K</i> ₂	22.19	22.33	24.18	23.66	131.00	150.00	171.67	168.67
指标均值 <i>K</i> ₃	23.08	24.43	23.17	23.98	257.33	170.00	172.00	164.33
极差 <i>R</i>	3.25	2.10	1.01	0.63	148.00	27.67	18.00	4.33
因素主→次	ABC				ABC			
最优方案	A ₂ B ₂ C ₃				A ₂ B ₂ C ₃			

表 4 氧化法改性淀粉中各因素对其吸水率和粘度影响的直观分析

Tab.4 Visual analysis of influence of factors on the water absorption and viscosity in starch modification using the oxidation method

因变量	吸水率/%				黏度/(mPa·s)			
	温度一定	pH 值一定	交联剂用量一定	空白列	温度一定	pH 值一定	交联剂用量一定	空白列
指标均值 K_1	26.53	25.43	25.52	25.01	340.00	347.00	336.00	340.33
指标均值 K_2	24.66	24.81	26.02	25.49	300.00	304.33	329.67	324.33
指标均值 K_3	25.14	26.09	24.79	25.84	348.33	337.00	322.67	323.67
极差 R	1.87	1.28	1.23	0.83	48.33	42.67	13.33	16.67
因素主→次	ABC				ABC			
最优方案	$A_2B_2C_3$				$A_2B_2C_3$			

表 5 酯化法改性淀粉中各因素对其吸水率和黏度影响的直观分析

Tab.5 Visual analysis of influence of factors on the water absorption and viscosity in starch modification using the esterification method

因素	吸水率/%				黏度/(mPa·s)			
	温度一定	pH 值一定	交联剂用量一定	空白列	温度一定	pH 值一定	交联剂用量一定	空白列
指标均值 K_1	27.06	26.46	26.26	25.57	307.33	332.00	327.33	305.00
指标均值 K_2	24.60	25.68	25.82	25.93	305.67	294.00	325.33	334.00
指标均值 K_3	26.36	25.88	25.94	26.52	349.67	336.67	310.00	164.33
极差 R	2.46	0.78	0.44	0.96	44	42.67	17.33	29.00
因素主→次	ABC				ABC			
最优方案	$A_2B_2C_3$				$A_2B_2C_3$			

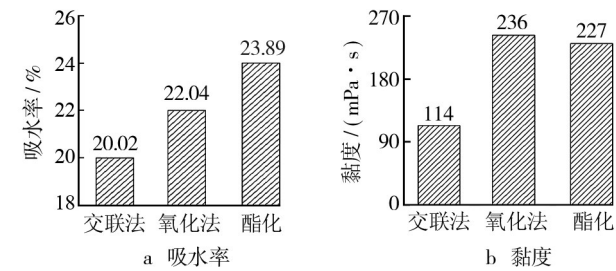


图 1 3 种改性方法在最佳组合时的吸水率及黏度

Fig.1 Water absorption of three modification methods in their respective best combination

化设计方案。

1) 温度。交联改性法中温度对吸水率和黏度影响的回归分析见表 6。由表 6 的回归分析可得吸水率与温度之间的关系式： $y=2.595-0.109x+0.001x^2$ 。即温度在 54.5 ℃时,有最小吸水率(见图 2);同时可以得到黏度与温度之间的关系式： $y=10\ 210.667-357.067x+3.160x^2$,即温度在 56.5 ℃时,有最小黏度值,见图 2。

2) pH 值。交联改性法中 pH 值对吸水率和黏度影响的回归分析见表 7。由表 7 的回归分析可得吸水率与 pH 值之间的关系式： $y=0.814-0.108x+0.005x^2$,即 pH 值为 10.8 时,有最小吸水率(见图 3);同时,可以得

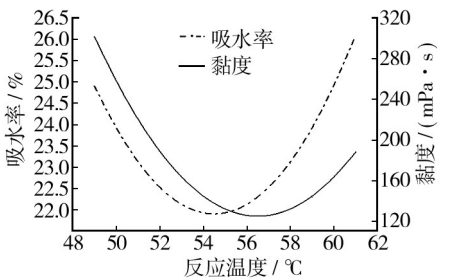


图 2 交联改性中温度对吸水率和黏度的影响

Fig.2 Influence of temperature on water absorption and viscosity in cross-linking modification

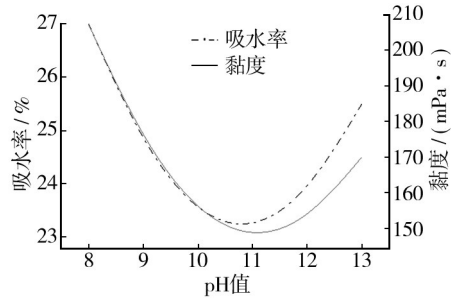


图 3 交联改性中 pH 值对吸水率和黏度的影响

Fig.3 Influence of pH on water absorption and viscosity in cross-linking modification

到黏度与 pH 值之间的关系式： $y=929.958-141.333x+$

表6 交联改性法中温度对吸水率和黏度影响的回归分析

Tab.6 Regression analysis of the influence of temperature on the water absorption rate and viscosity in cross-linking modification

自变量	因变量	模型分析		参数估计			
		决定系数 R^2	F 检验统计量	显著性系数	常数项	一次项系数	二次项系数
温度/℃	吸水率	0.622	4.928	0.054	2.595	-0.109	0.001
	黏度	0.913	31.676	0.001	10 210.667	-357.067	3.160

表7 交联改性法中pH值对吸水率和黏度影响的回归分析

Tab.7 Regression analysis of the influence of pH on the water absorption and viscosity in cross-linking modification

自变量	因变量	模型分析		参数估计			
		决定系数 R^2	F 检验统计量	显著性系数	常数项	一次项系数	二次项系数
pH值	吸水率	0.747	4.426	0.169	0.814	-0.108	0.005
	黏度	0.484	3.674	0.544	929.958	-141.333	6.375

6.375x²,即pH值为11.1时,有最小的黏度值(见图3)。

3) 交联剂用量。交联改性法中交联剂用量对吸水率和黏度影响的回归分析见表8。在表8的回归分析中可以得到,吸水率与改性剂(环氧氯丙烷)用量之间的关系式为: $y=0.138+12.313x-380.00x^2$,即在环氧氯丙烷和改性淀粉干基质量比为1.62:100时,有最小吸水率(见图4);同时,可得黏度与改性剂用量关系式: $y=331.667-229\ 66.667x+820\ 000x^2$,即在环氧氯丙烷和改性淀粉干基质量比为1.4:100时,有最低的黏度(见图4)。

2.2.2 方差分析

1) 吸水率。3因素对疏水化改性淀粉吸水率影响

表8 交联改性法中交联剂用量对吸水率和黏度影响的回归分析

Tab.8 Regression analysis of the influence of crossing-link agent amount on the water absorption rate and viscosity in cross-linking modification

自变量	因变量	模型分析		参数估计			
		决定系数 R^2	F 检验统计量	显著性系数	常数项	一次项系数	二次项系数
交联剂用量 (质量比)	吸水率	0.557	4.036	0.411	0.138	12.313	-380.000
	黏度	0.532	4.284	0.183	331.667	-22 966.667	820 000.000

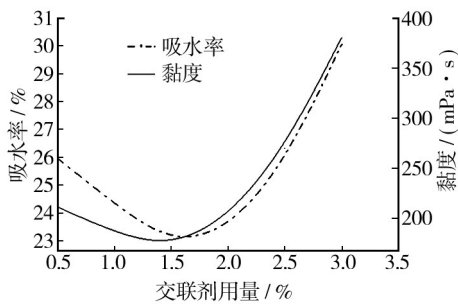


图4 交联改性中交联剂用量对吸水率和黏度的影响

Fig.4 Influence of crossing agent amount on water absorption rate and viscosity in crosing

的方差分析见表9。 $R^2=0.952$,非常接近1,说明分析准确性很好。 F 值越大,统计学意义越大,接近1时,几乎无统计学意义,因此由 F 列分析,温度对吸水率影响最为明显,其次是pH值,而改性剂用量影响极小。由显著性系数来看,温度的显著值为0.072 ($0.05<0.072<0.10$),有一定的影响;pH值和改性剂用量的显著值分别为0.153和0.430(大于0.10),无统计学意义,说明温度对实验指标有一定的影响;其他2因素对实验指标的影响不很显著,影响次序由大到小依次为A,B,C。

2)黏度。3因素对疏水化改性淀粉黏度影响的方

表9 3因素对疏水化改性淀粉吸水率影响的方差分析

Tab.9 Variance analysis of influence of factors on the water absorption of hydrophobic modified starch

因素	平方和	自由度	均方	决定系数 R^2	F 检验统计量	显著性系数
温度	0.002	2	0.001		12.921	0.072
pH值	0.001	2	0.000	0.952	5.543	0.153
交联剂用量	0.000	2	8.65E-005		1.323	0.430

表 10 3 因素对疏水化改性淀粉黏度影响的方差分析
Tab.10 Variance analysis of influence of factors on the viscosity of hydrophobic modified starch

因素	平方和	自由度	均方	决定系数 R^2	F 检验统计量	显著性系数
温度	5344.667	2	2672.333	0.949	14.342	0.065
pH 值	1328.667	2	664.333		3.565	0.219
交联剂用量	194.000	2	97.000		0.521	0.658

差分析见表 10。由表 10 可以看出： $R^2=0.949$ ，非常接近 1，准确性很好。由 F 列分析，温度对吸水率影响最为明显，其次是 pH 值，而改性剂用量影响极小。由显著性系数来看，温度的显著值为 0.065 ($0.05<0.072<0.10$)，有一定的影响；pH 值和改性剂用量的显著值分别为 0.219 和 0.658 (大于 0.10)，无统计学意义，说明温度对实验指标有一定的影响，其他 2 因素对实验指标的影响不很显著，影响次序由大到小依次为 A、B、C。

3 结语

实验中用到的数据分析软件为正交设计助手(Ⅱ)3.1 和 SPSS13.0。其中，正交设计助手(Ⅱ)3.1 为中文界面，易于学习和操作，多用于分析极差和效应以及选择最佳方案组合；SPSS13.0 可进行回归分析，拟合函数关系，用来进一步优化工艺参数。

实验利用氧化法、交联法和酯化法对马铃薯淀粉进行疏水化改性。通过极差分析，确定疏水化改性的最佳方案为交联法。交联改性将马铃薯淀粉的吸水率降低了 43.44%，在液体石蜡中的黏度降低了 70.54%。综合考虑吸水率和黏度以及实际可操作性，确定最佳工艺条件：水浴温度为 55℃，pH 值为 11，环氧氯丙烷和淀粉干基的质量比为 1.5%，此时可以得到改性效果最佳的疏水化淀粉，并由实验验证此时得到的疏水化改性淀粉的吸水率为 20.96%，黏度为 156 mPa·s。

参考文献：

[1] 梁祝贺,黄智奇,张雷娜,等. 二步交联法改善淀粉胶黏剂的耐水性[J]. 包装工程,2010,31(7):11—14.
LIANG Zhu-he, HUANG Zhi-qi, ZHANG Lei-na, et al. Two-step Crosslinking Method to Improve the Water Resistance of Starch Adhesives[J]. Packaging Engineering, 2010, 31 (7):11—14.

[2] KOO S H, LEE K Y, LEE H G. Effect of Cross-linking on the Physicochemical and Physiological Properties of corn Starch [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(6):619—625.

[3] REDDY N, YANG Y. Citric Acid Cross-linking of Starch Films[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3):702—711.

[4] TOLVANEN P, SOROKIN A, MA KI-ARVELA P, et al. Batch and Semibatch Partial Oxidation of Starch by Hydrogen Peroxide in the Presence of an Iron Tetrasulfophthalocyanine Catalyst: The Effect of Ultrasound and the Catalyst Addition Policy[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2010, 50(2):749—757.

[5] 杨晓武,沈一丁,李培枝,等. 烯基琥珀酸酐疏水化淀粉的性能及其表面施胶应用研究[J]. 功能材料,2013,44(2):212—215.
YANG Xiao-wu, SHEN Yi-ding, LI Pei-zhi, et al. Alkenyl Succinic Anhydride Hydrophobic Properties of Starch and its Application Research on Surface sizing[J]. Function Materials, 2013, 44(2):212—215.

[6] 吴修利,吴修顺,刘冰许. 高取代度丁二酸酯玉米淀粉的半干法制备及性能研究[J]. 河南农业科学,2013(1):135—138.
WU Xiu-li, WU Xiu-shun, LIU Bing-Xu. Study on Properties and Preparation Method of Ding two Ester of Corn Sarch with High Substitution of Semi Dry[J]. Henan Agricultural Science, 2013(1):135—138.

[7] 韩斐. 醋酸酯玉米淀粉的制备、表征及性能研究[D]. 兰州: 兰州大学,2013.
HAN Fei. Acetate Characterization and Performance Study of Preparation of corn Starch[D]. Lanzhou :Lanzhou University, 2013.

[8] 刘瑞江,张业旺,闻崇炜,等. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理,2010,27(9):52—55.
LIU Rui-jiang, ZHANG Ye-wang, WEN Chong-wei, et al. The Orthogonal Experiment Design and Analysis Method Study[J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27 (9):52—55.

[9] 汪瑶,余勇,郭磊,等. 利用正交实验和模糊评价改进香榧加工工艺[J]. 食品与发酵工业,2013,39(10):151—155.
WANG Yao, YU Yong, GUO Lei, et al. Using Orthogonal Experiment and Fuzzy Evaluation to Improve Torreya Grandis Processing Technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(10):151—155.

(下转第 99 页)

- (9):9—15.
- REN Qing-chun, KONG Jing-wei. To Understand Correctly the Working Principle of Numerical Control Machine through the Teaching of Technology Professional[J]. The New Curriculum Studies (Vocational Education), 2008, 126(9):9—15.
- [5] ABBASI M A, ALI E, ISLAM M, et al. Strategies for Synchronization and Optimization of Distributed Generation System in a Smart Grid[J]. Proceedings of the 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology (GUT), 2012: 20—24.
- [6] SEONGI L. Simultaneous Constrained Pin Assignment and Escape Routing Considering Differential Pairs for FPGA-PCB Co-design Mak[J]. IEEE Transactions on Computer-aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2013, 32:1866—1878.
- [7] 李腾飞, 凌有铸, 刘敬猛. 基于FPGA的数控系统接口模块硬件电路的设计[J]. 南阳理工学院学报, 2013(5):57—59.
- LI Teng-fei, LING You-zhu, LIU Jing-meng. The Design of Hardware Module Circuit Control System Interface Based on FPGA[J]. Journal of Nanyang Institute of Technology, 2013 (5):57—59.
- [8] ZHAO Zhen-hong, JIANG Xiu-ming, DU Yu-hong. Design of Motion Platform for Automatic Dye Dispenser 2011 International Conference on Control[J]. Automation and Systems Engineering(CASE), 2011(4):122—126.
- [9] 周亮, 李珍. 基于PLC的液体袋装包装机控制系统的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1):88—91.
- ZHOU Liang, LI Zhen. Design of the Control System of Liquid Bag Packaging Machine Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):88—91.
- [10] SU Lei, JIANG Hai-bin, DONG Wang. The High Speed Low Noise Multi-data Processing Signal Process Circuit Research of Remote Sensing Proceedings of the SPIE[J]. The International Society for Optical Engineering, 2013, 56:810—816.
- [11] 廖强, 文荣, 夏洋, 等. 基于SOPC的宽幅喷墨打印机控制系统[J]. 计算机工程, 2009, 35(19):260—262.
- LIAO Qiang, WEN Rong, XIA Yang, et al. Wide Format Ink-jet Printer Control System Based on SOPC[J]. Computer Engineering, 2009, 35(19):260—262.
- [12] 董伯麟, 龚强, 王治森. 基于FPGA的数控系统现场总线时钟同步技术[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(7):9—12.
- DONG Bo-lin, GONG Qiang, WANG Zhi-sen. Technology for NC Field Bus Time Synchronization Based on FPGA[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2013(7):9—12.
- [13] 俞丛晴, 占红武, 梅灿华. 工业打印系统数据通道设计[J]. 轻工机械, 2013, 31(3):69—71.
- YU Cong-qing, ZHAN Hong-wu, MEI Can-hua. Data Channel Design for Industry Print System[J]. Light Industry Machinery, 2013, 31(3):69—71.
- [14] HORVAT R, JEZERNIK K, CURKOVIC M. An Event-driven Approach to the Current Control of a BLDC Motor Using FPGA[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(7):3719—3726.
- [15] GABIGER R A, KUBE M, WEIGEL R. An FPGA-based Fully Synchronized Design of a Bilateral Filter for Real-time Image Denoising[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(8):4093—4104.
-
- (上接第42页)
- [10] 邓振伟, 于萍, 陈玲. SPSS软件在正交试验设计、结果分析中的应用[J]. 电脑学习, 2009(5):15—17.
- DENG Zheng-wei, YU Ping, CHEN Ling. SPSS Software in the Application of Orthogonal Experiment Design and Result Analysis[J]. Computer Studies, 2009(5):15—17.
- [11] PALLANT J. SPSS Survival Manual: A step by Step Guide to Data Analysis using SPSS[M]. McGraw-Hill International, 2010.
- [12] SPSS 数据分析:问题提出与实例导学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- SPSS Data Analysis, Problem put Forward with Example of Learning[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009.
- [13] 骆方, 刘红云, 黄崑. SPSS数据统计与分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2011.
- LUO Fang, LIU Hong-yun, HUANG Kun. SPSS Data Statistics and Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [14] 杜郢, 顿全秀, 周春利, 等. 硅烷改性水性聚氨酯表面施胶剂的制备与性能研究[J]. 化工新型材料, 2011, 39(5):130—133.
- DU Ying, DUN Quan-xiu, ZHOU Chun-li, et al. Study on the Synthesis and Properties of Waterborne Polyurethane Surface Sizing Agent for Modified with Silane[J]. New Chemical Materials, 2011, 39(5):130—133.
- [15] GENEST S, SCHWARZ S, PETZOLD-WELCKE K, et al. Characterization of Highly Substituted, Cationic Amphiphilic Starch Derivatives: Dynamic Surface Tension and Intrinsic Viscosity[J]. Starch - Strke, 2013, 65(11-12):999—1010.
- [16] GENEST S, SCHWARZ S, PETZOLD-WELCKE K, et al. Characterization of Highly Substituted, Cationic Amphiphilic Starch Derivatives: Dynamic Surface Tension and Intrinsic Viscosity[J]. Starch-Strke, 2013, 65(11-12):999—1010.