

软包装汀州五香豆腐干制作工艺的优化

黎 英

(龙岩学院,福建 龙岩 364012)

摘 要:针对汀州五香豆腐干生产工艺参数的不稳定性,采用正交试验和多目标灰色决策分析法对影响汀州五香豆腐干产率及品质的主要工艺条件进行了研究。结果显示:豆浆浓度为 12%,豆浆的 pH 值为 7.5,GDL 添加量为 0.25%,凝固温度为 80℃,凝固时间为 35 min,35 g·cm⁻² 的强度压榨 35 min,卤制时间为 2.5 h,60℃ 烘烤 3.5 h 是最佳生产工艺条件。

关键词:汀州五香豆腐干;工艺参数;优化

中图分类号:TS214.2

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)06-1049-04

Processing Technological Optimization for Soft-packed Spiced Tingzhou Dried Bean Curd

LI Ying

(Longyan University, Longyan 364012, Fujian, China)

Abstract: Contraposing the instability of process technological parameter in Tingzhou dried bean curd processing, Orthogonal Test and gray situation decision on multiple aims was used to study the effect of main technological parameters on output ratio and quality. The result suggested that the optimal process conditions can be obtained as follows: soymilk concentration 12%, pH of soymilk 7.5, GDL addition 0.25%, 80℃, coagulation time 35 min, press 35 min at the strength of 35g·cm⁻², bitter time 2.5h, curing temperature 60℃ and curing time 3.5 h.

Key words: Spiced Tingzhou dried bean curd; Technological parameter; Optimization

传统的汀州五香豆腐干以优质大豆为主要原料,采用酸浆(酸的豆腐水)作为媒介加工,切块后,配以适量的甘草、茴香、肉桂、公丁、香苏、白糖、食盐、酱油等调料卤煮,纱布盖好后在阳光下晒干、压平,即为成品。

近年来随着人们对天然有机食品的追求和对传统大豆制品营养、医学价值认识的加深,大豆制品深受消费者的欢迎;而卤制中所添加的各种天然香辛料具有调香、防腐及抗氧化等功效也颇受消费者的关注。具有悠久的历史汀州品牌的豆腐干以丰富的营养,独特的风味、半透明状的厚度、质韧耐嚼的口感已经成为享誉海内外,老幼皆宜,久食不厌的豆制品,国内外市场对汀州豆腐干产品的需要量日趋增大。

目前,汀州五香豆腐干生产厂家基本上是作坊式的小厂,简陋的制作作坊和原始的手工操作很难保证豆腐干的产量和质量。人们生活水平的提高和生活节奏的加快,迫切需要一种食用方便、卫生,便

于贮藏运输,并适合大规模工业化生产的即食豆腐干制品。采用酸凝固剂(GDL)生产豆腐干,从影响豆腐干产率及品质的主要工艺条件中优选出合理的工艺条件组合,为我国传统大豆制品豆腐干的工业化生产提供可靠的理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

主要材料:黄豆(市售),葡萄糖酸-δ-内酯(GDL)(AR),盐酸(AR),氢氧化钠(AR)。

辅料:精盐、白糖、八角、桂皮、茴香等,必须符合食品卫生标准。

主要设备:电子分析天平(AB204-N型),精密酸度计(PHS-3C型),千分尺(702-01型),阿尔贝折射仪(WAY-2W型),自动分离磨浆机(LL-35型),压榨机(YYJ-16型),真空包装机(Z818-2A型)等。

收稿日期:2008-06-11

作者简介:黎英(1974-),女,硕士,实验师,研究方向为食品科学。E-mail:liying213fly@163.com。

包装材料:采用尼龙/聚偏二氯乙烯/聚乙烯材料复合的透明蒸煮袋。

1.2 方法

1.2.1 豆腐干厚度的测定 用螺旋测微器(精度0.001mm)在待测豆腐干上随机选取5个点测厚度,取其平均值。控制最终得到豆腐干的厚度在0.3~0.5 cm之间。

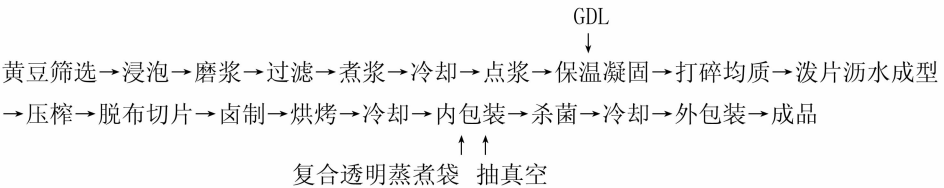
1.2.2 可溶性固形物含量测定 折光计法^[1]。

1.2.3 豆腐干产率的计算 豆腐干产率(%) = $W/(M * V) * 100\%$

式中:W——豆腐干重量(g);M——豆浆固形物含量(%);V——豆浆体积(L)

1.2.4 感官评分标准 根据试验方案设计,按工艺要点制作出相应的9组汀州五香豆腐干,由10名有感官品评经验的专业技术人员组成评委,从组织状态、口感、色泽三个方面对产品的感官评定(优9.0~10分;良8.0~8.9分;中7.0~7.9分;差6.0~6.9分),取其平均值。

1.2.5 汀州五香豆腐干的制作



①选择色泽光亮、籽粒饱满、无虫蛀和无霉变的新鲜大豆为佳。浸泡温度为20℃左右,不可超过30℃,时间大约10~15 h^[2]。②加入泡好大豆5倍95℃的水,磨浆时间4~6 min。要求磨浆后浆汁粗细要均匀、细腻,磨制的粒度应在3 μm以下。并趁热用60目纱布过滤^[3-4]。③煮浆至沸腾持续5 min,防止溢锅。冷却到30℃。加入的GDL(GDL与豆浆的混合必须在30℃以下进行,否则凝固剂与热豆浆接触的瞬間就会凝固,导致凝胶不完全、不均匀和白浆的产生。GDL与豆浆混合前,用少量凉开水或凉热浆溶后混合混匀,以免添加不均)。④将混合液加入铺好包布的木制带格板(格子长宽12×12 cm规格)方框内后在95℃的密封保温室进行保温凝固30 min。取出后立即推入冷却间快速降温成型。然后包好布上架进行压榨,松榨后按格子印划开。⑤将香辛料用纱布包扎好,加适量水放入夹层锅中加热至沸,冷却后投入白糖、食盐、味精和酱油,再将刚划好的豆腐块投入卤汁中浸制,使其上味。捞出滤干摊筛。卤汁配方(50 kg豆腐块):甘草65 g、

大小茴香各85 g、肉桂45 g、公丁60 g、桂皮48 g、香苏35 g、白糖200 g、食盐1.5 kg、酱油75 g、味精40 g、栀子80 g。⑥选择较低的烘烤强度进行烘干,而后直接放入预冷间预冷,用清洁的空气机强制冷却。然后对成品进行内包装及抽样进行感官评定。⑦采用高压杀菌,反压冷却,杀菌公式为:10-15-10 min/121℃冷却至常温进行外包装。

2 结果与分析

2.1 影响汀州五香豆腐干产率的主要工艺参数的确定

豆腐干产率可受多种因素的影响,如大豆的品种、浸泡的温度和时间、豆浆的浓度和pH、加热条件、GDL的添加量、凝固的温度和时间等^[5-11]。在前人^[5-6]研究的基础上,选择豆浆浓度及pH值、GDL的添加量、凝固温度、凝固时间作为影响豆腐干产率生产的主要参数,进行5水平4因素L₁₆(4⁵)的正交试验^[12],试验的因素水平设计及结果见表1、表2。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal design

水平 Level	因素 Factors				
	A 豆浆浓度 Concentration of soybean milk/%	B 豆浆的 pH 值 pH of soybean milk	C GDL 的添加量 Addition quantity of GDL/%	D 凝固温度 Coagulation temperature/℃	E 凝固时间 Coagulation time/min
1	8	7.0	0.20	80	25
2	10	7.5	0.25	85	30
3	12	8.0	0.30	90	35
4	14	8.5	0.35	95	40

表2 影响汀州五香豆腐干产率正交试验结果

Table 2 Result of orthogonal test about the factors that affect output ratio of spiced Tingzhou dried bean curd)

水平 Level	因素 Factors					豆腐干产率 Dried bean curd output ratio/%
	A	B	C	D	E	
1	1(8)	1(7.0)	1(0.20)	1(80)	1(25)	56.2
2	1	2(7.5)	2(0.25)	2(85)	2(30)	55.5
3	1	3(8.0)	3(0.30)	3(90)	3(35)	54.1
4	1	4(8.5)	4(0.35)	4(95)	4(40)	53.3
5	2(10)	1	2	3	4	55.7
6	2	2	1	4	3	58.1
7	2	3	4	1	2	55.3
8	2	4	3	2	1	55.9
9	3(12)	1	3	4	2	57.6
10	3	2	4	3	1	58.4
11	3	3	1	2	4	56.2
12	3	4	2	1	3	58.5
13	4(14)	1	4	2	3	57.5
14	4	2	3	1	4	57.3
15	4	3	2	4	1	56.6
16	4	4	1	3	2	55.7
k ₁	54.78	56.75	56.55	56.83	56.78	
k ₂	56.25	57.33	56.58	56.28	56.03	
k ₃	57.68	55.55	56.23	55.98	57.05	
k ₄	56.78	55.85	56.13	56.4	55.63	
极差 R	2.9	1.78	0.45	0.85	1.42	

从以上的极差分析可以得出汀州五香豆腐干产率的直观分析图(见图1)。

由结果的极差及直观分析图1可知,各因素对汀州五香豆腐干产率的影响顺序为A>B>E>D>C,即影响最大的为豆浆浓度,其次为豆浆的pH值与凝固时间,而凝固温度的影响较小,凝固剂用量的影响最小。最佳参数组合为A₃B₂C₂D₁E₃,即豆浆浓度12%,pH值为7.5,GDL添加量为0.25%,凝固温度80℃,凝固时间35 min。

2.2 影响汀州五香豆腐干品质的主要工艺条件确定

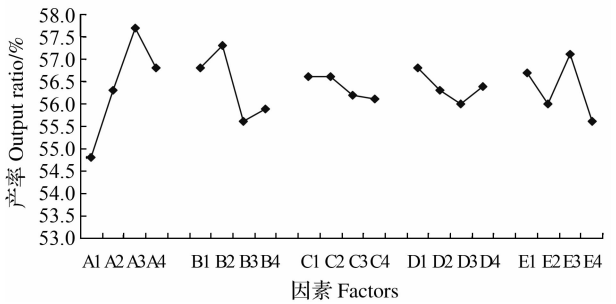


图1 各因素产率趋势图

Fig. 1 Output ratio tendency of each factors

影响豆腐干品质的工艺条件主要是压榨的强度和时间,卤制的时间,烘烤的温度和时间三个工序。压榨的强度及时间直接影响豆腐干的含水量、韧度和弹性。压榨强度过大或时间过长,将导致豆腐干含水率过低,产品得率下降且质地坚硬;而压榨强度过小或时间过短,易使成品含水率过高,不利于贮藏、质地偏软。因此初选压榨强度时间为 $35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、30 min; $35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、35 min; $35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、40 min。卤制时间的长短直接影响成品色泽的均一、深浅,滋气味的浓淡。按一般卤制时间,初定为2.0 h;2.5 h;3.0 h。烘干工序既可以进一步除去豆腐干中过多的水分,又可改善产品组织状态和色泽。所以初选烘干强度定为 80°C 、3.5 h; 70°C 、3.5 h; 60°C 、3.5 h,确定豆腐干的组织状态、口感和色泽为3个研究目标,应用多目标灰色局势决策理论^[13-14]对压榨时间、卤制时间和烘烤温度工艺条件进行优化选择。结果见表3。

2.2.1 多目标灰色决策确定最佳工艺条件

2.2.1.1 计算多目标的效果测度矩阵 确定豆腐干的组织状态、口感、色泽三个目标,要求豆腐干的组织状态、口感和色泽分数越高越好。因而,均采用上限效果测度。

表3 影响汀州五香豆腐干品质的因素和目标

Table 3 Experimental factor and target that affect quality of spiced Tingzhou dried bean curd

试验号 Number of experiment	压榨时间 Pressing period/min	卤制时间 Bittern time/h	烘烤温度 Curing tem perature/ $^{\circ}\text{C}$	目标1:组织状态 Target 1: Structural state/grade	目标2:口感 Target 2: Taste/grade	目标3:色泽 Target 3: Color/grade
1	1(30)	1(2)	1(80)	9.6	8.0	8.6
2	1	2(2.5)	2(70)	8.7	8.1	8.8
3	1	3(3)	3(60)	8.2	7.8	8.7
4	2(35)	1	2	7.5	8.8	9.0
5	2	2	3	8.4	9.8	9.2
6	2	3	1	8.4	9.1	9.7
7	3(40)	1	3	9.3	8.1	8.4
8	3	2	1	8.6	8.4	8.6
9	3	3	2	8.1	8.2	8.9

效果测度: $r_{ij}^{(p)} = \frac{u_{ij}^{(p)}}{u_{\max}^{(p)}}$ 其中, $u_{\max}^{(p)} = \max_i \max_j \{ u_{ij}^{(p)} \}$;
 $r_{ij}^{(p)} \in (0, 1)$; $u_{ij} \leq u_{\max}$

u_{ij} 表示 s_{ij} 指标评价值。 u_{\max} 表示在同一目标下, 所有指标最高评价价值。

根据 $d_{ij}^{(p)} = r_{ij}^{(p)} / s_{ij}^{(p)}$ 可得豆腐干组织状态放的效果测度矩阵 $D^{(1)}$; 口感效果测度矩阵 $D^{(2)}$; 色泽效果测度矩阵 $D^{(3)}$ 。

$$D^{(1)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{s_{11}} & \frac{0.8723}{s_{12}} & \frac{0.7979}{s_{13}} \\ \frac{0.9681}{s_{21}} & \frac{0.9468}{s_{22}} & \frac{0.8936}{s_{23}} \\ \frac{0.9255}{s_{31}} & \frac{0.9149}{s_{32}} & \frac{0.8617}{s_{33}} \end{bmatrix}$$
$$D^{(2)} = \begin{bmatrix} \frac{0.8163}{s_{11}} & \frac{0.8265}{s_{12}} & \frac{0.7959}{s_{13}} \\ \frac{0.8980}{s_{21}} & \frac{1}{s_{22}} & \frac{0.9286}{s_{23}} \\ \frac{0.8265}{s_{31}} & \frac{0.8571}{s_{32}} & \frac{0.8367}{s_{33}} \end{bmatrix}$$
$$D^{(3)} = \begin{bmatrix} \frac{0.8866}{s_{11}} & \frac{0.9072}{s_{12}} & \frac{0.8969}{s_{13}} \\ \frac{0.9278}{s_{21}} & \frac{0.9485}{s_{22}} & \frac{1}{s_{23}} \\ \frac{0.8660}{s_{31}} & \frac{0.8866}{s_{32}} & \frac{0.9175}{s_{33}} \end{bmatrix}$$

2.2.1.2 计算多目标综合决策矩阵 $D^{(\Sigma)}$ 在多目标合适局势决策中各目标的重要程度不同,采用加权平均法,计算综合决策矩阵。根据豆腐干组织状态、口感及色泽关系确定:

$$D^{(\Sigma)} = \begin{bmatrix} \frac{0.9222}{s_{11}} & \frac{0.8656}{s_{12}} & \frac{0.8171}{s_{13}} \\ \frac{0.9390}{s_{21}} & \frac{0.9631}{s_{22}} & \frac{0.9254}{s_{23}} \\ \frac{0.8839}{s_{31}} & \frac{0.8919}{s_{32}} & \frac{0.8654}{s_{33}} \end{bmatrix}$$

最优局势的确定
由 $D^{(\Sigma)}$ 知:
行最优局势为: S11, S22, S32
列最优局势为: S21, S22, S23
行列一致最优局势为: S22
表明:影响豆腐干品质的最佳工艺条件以 35 g · cm⁻²强度压榨 35 min, 卤制 2.5 h, 60℃ 烘烤 3.5h 为宜。

3 结论

3.1 通过正交试验和多目标灰色决策分析,可知汀州五香豆腐干加工的最佳工艺条件为:豆浆浓度为12%,豆浆的 pH 值为 7.5, GDL 添加量为 0.25%,凝固温度为 80℃,凝固时间为 35 min, 35 g · cm⁻²强度压榨 35 min, 卤制时间为 2.5 h, 60℃ 烘烤 3.5 h。即可获得产率高,质地好,色、香、味俱佳的五香豆腐干。
3.2 各因素对汀州五香豆腐干产率影响的主次顺序依次为:豆浆浓度 > 豆浆的 pH 值 > 凝固时间 > 凝固温度 > 凝固剂用量。
3.3 试验生产的汀州五香豆腐干,色泽均一、呈咖啡色,半透明状且质韧耐嚼,食之使人感到甜、香、甘、咸四味俱全,回味悠长。水分 ≤ 25%, 蛋白质 ≥ 30%, 脂肪 ≥ 10%, 灰分 ≥ 0.3%, 大肠杆菌个数 (个/100 g) ≤ 70, 细菌总数 (个/g) ≤ 5 × 10⁴, 致病菌不得检出。此产品在规定的条件下,微生物指标均未超过国家标准。在常温下可保存 6 个月。

参考文献

[1] 无锡轻工业学院,天津轻工业学院合编. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994:37-62. (Wuxi Light Industry Institute and Tianjin Light Industry Institute co-edited. Food Analysis[M]. Beijing:China Light Industry Press,1994:37-62).
[2] 李里特,曹薇. 大豆浸泡温度对豆腐加工的影响[J]. 食品科学,1998,19(6):29-32. (Li L T, Cao W. The effects of soybean's soaking temperature on soybean curd artifactitious[J]. Food Science, 1998, 19(6):29-32.)
[3] 卢义伯,潘超,祝义亮. 豆腐生产不同制浆工艺研究[J]. 食品工业科技,2007,28(8):183-187. (Lu Y B, Pan C, Zhu Y L. Study on different pulping process in soybean curd artifactitious [J]. Science and Technology in Food Industry, 2007, 28(8):183-187.)
[4] 钱虎君,盖钧镒. 豆乳和豆腐加工过程中滤渣方法和絮凝时间对营养成分利用的影响[J]. 大豆科学,2001,20(1):18-21. (Qian H J, Gai J Y. Effect of different filtering methods and coagulating time treatments to utilization of nutrients in soymilk and tofu process[J]. Soybean Science, 2001, 20(1):18-21.)
[5] 石彦国. 大豆制品工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,1993:173-182. (Shi Y G. Soybean products technology[M]. Beijing:China Light Industry Press,1993:173-182.)
[6] 钱虎君,盖钧镒,喻德跃. 大豆豆腐产量、品质及有关加工性状的遗传分析[J]. 中国油料作物学报,2003,23(1):27-30. (Qian H J, Gai J Y, Yu D Y. A study of genotypic variation and inheritance of tofu output, quality and processing traits[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003, 23(1):27-30.)

- AxN-1-55 soybean germplasm with partial resistance to sclerotinia stem rot[J]. Crop Science, 2006, 46: 1403-1404.
- [14] Wang D, Diers B W, Boyse J. Registration of Skylla' soybean[J]. Crop Science, 2006, 46: 974-975.
- [15] Grau C R, Radke V L, Gillespie F L. Resistance of soybean cultivar to *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Plant Disease, 1982, 66: 506-508.
- [16] Boland G J, Hall R. Evaluation soybean cultivars for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* under field conditions[J]. Plant Disease, 1987, 10: 934-936.
- [17] Kim H S, Diers B W. Inheritance of partial resistance to *Sclerotinia* stem rot in soybean [J]. Crop Science, 2000, 40: 55-61.
- [18] Guo X M, Wang D C, Anne E D, et al. Genetic mapping of QTL underlying partial resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean PI 391589A and PI 391589B [J]. Crop Science, 2008, 48: 1129-1139.
- [19] Oppenheim A B. Cloned chitinases in fungal plant pathogen control strategies[J]. Trends in Biotechnology, 1992, 57(2): 60-71.
- [20] Grison R. Field tolerance to fungal pathogens of brassicanapus constitutively expressing chimeric chitinase gene[J]. Nature Biotechnology, 1996, 14(5): 643-646.
- [21] Cessna S G, Sears V E, Dickman M B, et al. Oxalic Acid, A pathogenicity factor for *Sclerotinia sclerotiorum*, suppresses the oxidative burst of the host plant stephen [J]. Plant Cell, 2000, 12(11): 2191-2200.
- [22] Lane B G. Oxalate oxidase and differentiating surface structure in wheat: germins[J]. Biochemistry Journal, 2000, 349: 309-321.
- [23] Zhang Z, Collinge D B, Thordal-Christensen H. Germinlikeoxalate oxidase, a H_2O_2 producing enzyme, accumulates in barley attacked by the powdery mildewfungus [J]. Plant Journal, 1995, 8(1): 139-145.
- [24] 董祥柏. 葡萄糖氧化酶基因和草酸氧化酶基因在甘蓝型油菜中的表达研究[D]. 北京: 中国农业科学研究院, 2004. (Dong X B. Expression of glucose oxidase gene and oxalate oxidase gene in oilseed rape (*Brassica Napus* L.) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2004.)
- [25] Donaldson P A, Erson T, Lane B G, et al. Soybean plants expressing an active oligomeric oxalate oxidase from the wheat gf-2. 8 (germin) gene are resistant to the oxalate secreting pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Plant Pathology, 2007, 20(11): 1384-1395.
- [26] Walz A, Zingen-Sell I, Loeffler M, et al. Expression of an oxalate oxidase gene in tomato and severity of disease caused by *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Plant Pathology, 2008, 57: 453-458.
- [27] 周乐聪. 油菜菌核病流行与防治的研究概况[J]. 中国油料, 1994, (增刊): 101-108. (Zhou L C. Research on epidemic and prevention of oil *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Oil Crops of China, 1994, 4(Supplement): 101-108.)
- [28] 余琦. 甘蓝型油菜性状与抗菌核病的关系[J]. 中国油料, 1994, 4(增刊): 73-74. (Yu Q. The relation of character and resistance to white mould in *Brassica napus*[J]. Oil Crops of China, 1994, 4(supplement): 73-74.)
- [29] Chen C, Harel A, Gorovoits R, et al. MAPK regulation of sclerotial development in *Sclerotinia sclerotiorum* is linked with pH and cAMP sensing[J]. Molecular Plant Microbe Interact, 2004, 17: 404-413.
- [30] Rollins J A, Dickman M B. Increase in endogenous and exogenous-cycli cAMP levels inhibits sclerotial[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1998, 64: 2539-2544.
- (上接第 1052 页)
- [7] 李里特, 刘志胜. 加工条件对豆腐凝胶物性品质的影响[J]. 食品科学, 2000, 21(5): 26-29. (Li L T, Liu Z S. Effects of processing conditions on tofu-gel physical qualities[J]. Food Science, 2000, 21(5): 26-29.)
- [8] 孙哲浩, 彭娟, 徐建祥, 等. 凝固条件对豆腐品质的影响[J]. 食品科学, 1999, 20(9): 37-39. (Sun Z H, Peng J, XU J X, et al. Effects of coagulation conditions on tofu quality[J]. Food Science, 1999, 20(9): 37-39.)
- [9] 张明晶, 巍益民. 加工条件对豆腐产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2003, 22(4): 227-229. (Zhang M J, Wei Y M. Effects of processing condition on the yield and quality of tofu[J]. Soybean Science, 2003, 22(4): 227-229.)
- [10] 张明晶, 巍益民, 张波, 等. 加工条件对豆腐质量特性的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 395-398. (Zhang M J, Wei Y M, Zhang B, et al. Effects of processing condition on the quality of tofu-gel[J]. Soybean Science, 2006, 25(4): 395-398.)
- [11] 李里特, 汪立君, 李再贵, 等. 大豆蛋白热变性程度对豆腐品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(1): 1-4. (Li L T, Wang L J, Li Z G, et al. Effects of heat denaturation of soybean protein on tofu-gel[J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(1): 1-4.)
- [12] 王钦德, 杨坚. 食品试验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 117-121. (Wang Q D, Yang J. Foods experimental design and statistical analysis[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 2003: 117-121.)
- [13] 郭爱民. 灰色系统理论和方法在食品科学中的应用[J]. 食品科学, 1994, 172(4): 3-6. (Guo A M. The application of grey system theory and method in food science[J]. Food Science, 1994, 172(4): 3-6.)
- [14] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992: 296-311. (Fu L. Grey system theory and application [M]. Beijing: Science and Technology Literature Press, 1992: 296-311.)