

文章编号: 1673-1689(2010)04-0567-05

# 阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化及流变性质的影响

廖瑾, 张雅媛, 洪雁\*, 朱玲

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 研究了阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化及流变性质的影响, 考察了马铃薯淀粉/阿拉伯胶混合体系在盐、柠檬酸、糖等不同介质下的糊化性质。RVA 结果表明在水溶液中随着阿拉伯胶含量的增加, 混合体系的峰值黏度显著降低, 具有更好的热稳定性, 但在冷却过程中, 淀粉黏度明显上升, 回值略有增加。添加胶体后, 马铃薯淀粉在盐溶液及柠檬酸溶液中的峰值黏度稍有降低, 在糖溶液中则表现出更高的黏度。静态流变实验显示不同混合体系均表现出剪切变稀性, 添加胶体后, 体系假塑性增强, 滞后环面积明显减小。

**关键词:** 马铃薯淀粉; 阿拉伯胶; 糊化性质; 流变学特性

中图分类号: TS 231

文献标识码: A

## Effect of Arabic Gum on Pasting and Rheological Properties of Potato Starch

LIAO Jin, ZHANG Ya-yuan, HONG Yan\*, ZHU Ling

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Effect of arabic gum on pasting and rheological properties of potato starch were studied. Pasting properties of the mixed systems in water, salt, acid and sucrose solutions were determined by RVA (rapid viscosity analyzer). The results indicated that peak viscosity of the potato starch during pasting decreased with increasing arabic gum concentration in water. The mixed systems had better stabilities under heating, but worse stabilities during cooling. The viscosity of mixed pasts slightly decreased in salt and acid solutions, but significantly increased by sucrose addition. Flow tests showed that all pastes exhibited shear-thinning behavior in which the hysteresis loop areas were significantly decreased by arabic gum addition.

**Key words:** potato starch; arabic gum; pasting properties; rheological properties

淀粉作为食品工业中重要的原辅料, 被广泛应用于食品加工中的各个领域, 它对食品的营养、质地、风味等特性起着不可替代的作用, 并为食品加工的多样性提供了条件。经许多研究发现, 向淀粉基食品中添加亲水性胶体, 两者经适当比例复配后可达到很好的协效性, 起到提高产品的稳定性, 控制水分流动, 降低成本和简化加工过程等作用<sup>[1-2]</sup>。

利用淀粉与胶体间的相互作用, 对提高传统食品产品质量, 改善加工工艺和指导新型食品的研究与开发有较好地推动作用。

糊化是淀粉的基本特性之一, 淀粉基食品加工、贮存以及食用中的口感等都与糊化特性密切相关<sup>[3]</sup>。因此, 在食品科学研究中经常以糊化特性作为判断淀粉或淀粉基食品质量的一项重要依据。

收稿日期: 2009-08-30

\* 通信作者: 洪雁(1974-), 女, 上海人, 工学硕士, 副教授, 主要从事碳水化合物资源开发与利用研究。Email: foodstarch@yahoo.cn

淀粉糊化后形成的淀粉糊表现为非牛顿流体的流变行为,在一定条件下,黏度随剪切速率增大而降低,这种假塑性流变特性对于其在很多领域的应用来说都是及其重要的<sup>[4]</sup>。

阿拉伯胶(arabic gum, AG)是已知所有水溶性胶中用途最广泛的胶体,它可以和大多数其他的水溶性胶、蛋白质、糖和淀粉相配伍,具有良好的乳化稳定性、成膜特性等。作者以马铃薯淀粉(potato starch, PS)为原料,加入不同比例的阿拉伯胶,通过研究两者混合后其糊化及流变学性质变化,分析变化规律,以期对淀粉与胶的复配物在食品工业中的应用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 主要材料与仪器

马铃薯淀粉:黑龙江北大荒马铃薯产业有限公司提供;阿拉伯胶:苏州丹尼斯克(中国)有限公司提供;快速黏度分析仪(RVA):澳大利亚 Newport Scientific 公司产品;AR-100 流变仪:美国 TA 公司产品;蔗糖、柠檬酸、NaCl:国药集团化学试剂有限公司产品。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 马铃薯淀粉与不同比例阿拉伯胶混合体系的 RVA 糊化曲线测定** 准确称取样品,分别与蒸馏水、质量分数 30% 的糖溶液、质量分数 1% 盐溶液及 pH=3 柠檬酸溶液混合于 RVA 专用铝盒内,调成质量分数为 6% 的马铃薯淀粉和添加 0.06、0.18、0.30 g/dL 阿拉伯胶的淀粉悬浮液(以干基计),按以下程序测定淀粉黏度曲线。具体为 50 °C, 960 r/min; 10 s, 160 r/min, 1.00 min, 50 °C; 4 min, 42 s, 95 °C; 11 min, 50 °C; 13 min 结束。

**1.2.2 静态流变学的测定** 取 1.2.1 中制备好的淀粉糊,放入应力可控型 AR1000 流变仪测定平台,采用平板-平板测量系统,平板直径为 60 mm,平板间距 1 mm,刮去平板外多余样品,加上盖板,并加入硅油以防止水分蒸发。在 25 °C 下,测量剪切速率( $\dot{\gamma}$ )从 0~300 s<sup>-1</sup>递增,再从 300~0 s<sup>-1</sup>递减范围内样品变化情况,数据采集和记录由计算机自动完成<sup>[5]</sup>。

采用幂率方程和 Herschel-Bulkley 两种流变模型对数据点进行回归拟和,复相关系数  $R^2$  表示方程的拟和精度。

幂率方程:

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n$$

Herschel-Bulkley 方程:

$$\dot{\tau} = \tau_0 + K'(\dot{\gamma}')^n$$

式中,  $\tau$  为剪切应力, Pa;  $\tau_0$  为屈服应力, Pa;  $K$ 、 $K'$  为稠度系数, Pa·s<sup>n</sup>;  $\dot{\gamma}$ 、 $\dot{\gamma}'$  为剪切速率, s<sup>-1</sup>;  $n$ 、 $n'$  为流体指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同质量浓度阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化特性的影响

**2.1.1 水介质中阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化特性的影响** 马铃薯淀粉在未添加或添加不同浓度阿拉伯胶条件下的糊化曲线如图 1 所示。从图中可以看出,加入胶体后,马铃薯淀粉的峰值黏度急剧下降,且随着胶体含量的增加,下降趋势愈加明显。当胶体质量浓度达到 0.18 g/dL 以上时,峰值黏度消失。

由图中同时可以看到马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系的崩解值明显降低,与原淀粉相比,具有更好的热稳定性,但在冷却过程中,淀粉黏度明显上升,回生程度略有增加。这可能是由于加入胶体后,糊化过程中马铃薯淀粉颗粒膨胀受到抑制,崩解时破损程度较小,有更多的淀粉分子回延长到原来趋于平行排列的状态,彼此重新以新的氢链结合,再次形成微晶束,因而在回生阶段表现出较大的黏度。此外,阿拉伯胶对马铃薯淀粉的起始糊化温度没有明显影响。

阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化黏度的抑制作用主要存在以下两方面的原因:(1)阿拉伯胶是一种含有钙、钾、镁等多种阳离子的弱酸性大分子多糖,而马铃薯淀粉分子上结合有大量的磷酸基。阿拉伯胶分子中的阳离子与马铃薯淀粉分子上的磷酸根及羟基结合,导致电荷下降,同时离子的存在影响了马铃薯淀粉与水分子的相互作用,抑制了马铃薯淀粉颗粒的膨胀,从而使淀粉难以糊化,峰值黏度降低;(2)亲水性胶体与淀粉颗粒中的可溶性直链淀粉之间能形成稳定的氢键,使分子的水合旋转半径增大,从而增加体系的表现黏度。而阿拉伯胶具有高度的分支结构和球状形态,在空间所占据的水分体积比例较少,与直链淀粉分子的作用力极弱,因而无法有效增加体系黏度。

**2.1.2 盐环境中阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化特性的影响** 以上实验可以发现随着阿拉伯胶含量的增加,混合体系 RVA 参数值的变化更为明显,因此,选取添加胶体浓度为 0.30 g/dL 的混合体系作为代表,研究不同应用环境中的糊化曲线。图 2 显示了马铃薯淀粉加入阿拉伯胶后在水与质量分数

1% 盐溶液中的糊化曲线对比。

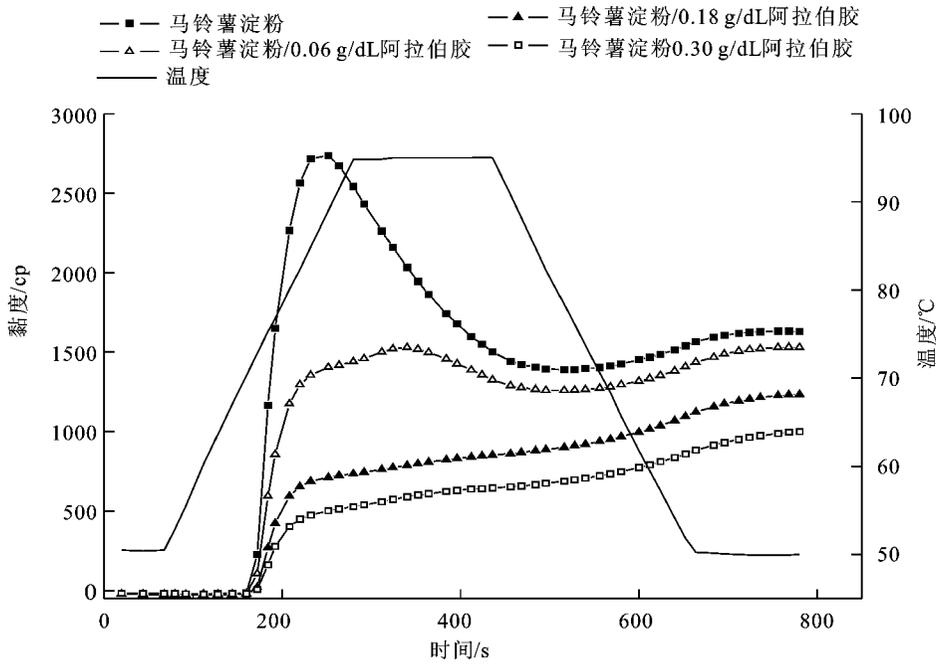


图 1 马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系在水环境中的糊化曲线

Fig. 1 Pasting curves of potato starch/ arabic gum mixed systems in water

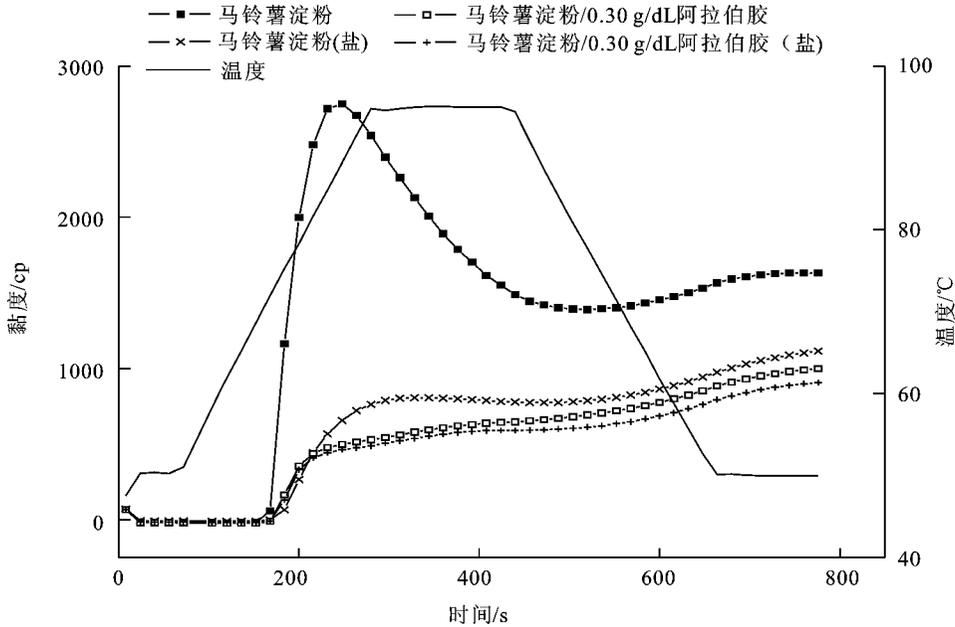


图 2 马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系在盐溶液中的糊化曲线

Fig. 2 Pasting curves of potato starch/ arabic gum mixed systems in salt solution

加入盐可以显著的降低马铃薯原淀粉的峰值黏度、崩解值及终值黏度,但对淀粉与胶体混合体系影响较小,曲线趋势基本一致,仅黏度稍有降低。同时可以发现,混合体系在水环境中的黏度曲线与马铃薯原淀粉在盐溶液中的黏度曲线较为相似,峰值黏度均大幅度降低,其后的黏度走势也极为相似,再次验证了离子作用对马铃薯淀粉糊化的影响。NaCl 是一种强电解质,在水可以解离为  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  可与马铃薯淀粉分子上的磷酸根及羟基

结合,起到与阿拉伯胶相似的离子作用。此外,NaCl 的存在降低了体系中的水分活度,从而影响了淀粉分子与水分子间的相互作用。

**2 1.3 柠檬酸介质中阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化特性的影响** 酸环境是食品中经常遇到的一种体系,淀粉在酸溶液中的性质直接影响到了其应用前景。图 3 表明,在  $\text{pH} = 3$  的酸性条件下,马铃薯淀粉的起始糊化温度升高,峰值黏度大幅降低,说明马铃薯原淀粉的抗酸能力较差。添加质量浓度为

0.30 g/dL 的阿拉伯胶后, 混合体系的峰值黏度进一步降低, 但崩解值和回值降低, 说明其热糊及冷糊稳定性增加。

**2.1.4 蔗糖介质中阿拉伯胶对马铃薯淀粉糊化特性的影响** 甜食类产品需要较高的浓度, 大部分食品在高糖溶液里希望得到高的黏度来改善食品的品质。图4显示了阿拉伯胶与马铃薯淀粉混合体系在质量分数为30%的蔗糖溶液中的糊化曲线。与在水介质中糊化的原淀粉相比, 马铃薯淀粉和

铃薯淀粉/阿拉伯胶混合体系在蔗糖溶液中糊化温度、终值黏度、回值均呈上升趋势, 峰值黏度显著降低。这主要是因为蔗糖分子中有多个羟基, 极易与水分子发生作用, 从而使淀粉分子与水分子间相互作用减弱, 淀粉分子链段间自身相互作用增强, 糊化温度升高。

**2.2 静态流变学特性的测定**

阿拉伯胶含量不同的淀粉糊在流动过程中需要的剪切应力随着剪切速率的增加而增加, 随着阿

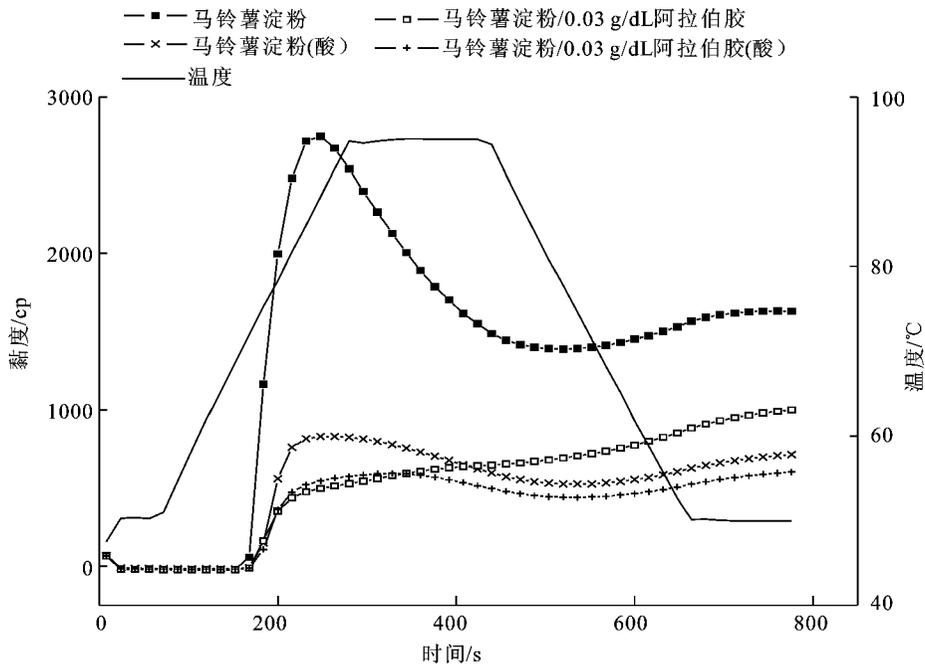


图3 马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系在酸溶液中的糊化曲线

Fig.3 Pasting curves of potato starch/ arabic gum mixed systems in citric acid solution

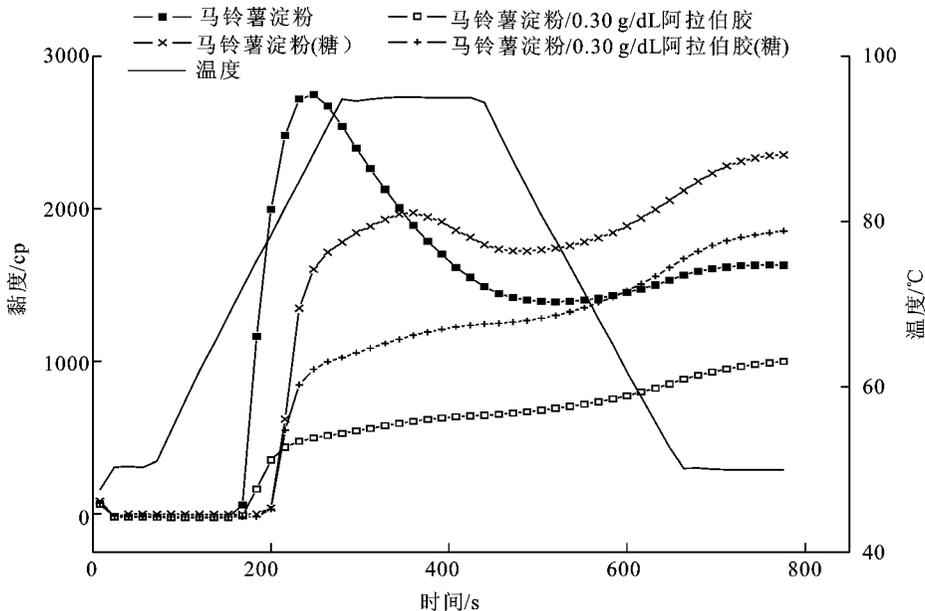


图4 马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系在蔗糖溶液中的糊化曲线

Fig.4 Pasting curves of potato starch/ arabic gum mixed systems in sucrose solution

拉伯胶含量的增加,淀粉糊流动过程中需要的剪切应力减小,曲线弯曲程度下降,淀粉糊流动时的阻力降低。

采用两参数幂律方程和 Herschel-Bulkley 方程对静态流变曲线进行拟合,拟合情况见表 1。由表 1 知,幂律方程和 Herschel-Bulkley 方程均适用于马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系流变曲线的拟合,复相关系数均在 0.99 以上,但 Herschel-Bulkley 方程对流变曲线的拟合精度明显高于幂律方程,尤其对于添加阿拉伯胶后的滞后下行曲线。

表 1 马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系静态流变的幂律方程和 Herschel-Bulkley 方程拟合参数

Tab.1 The Power law and Herschel-Bulkley parameters for potato starch/arabic gum mixed systems

胶体 添加量	幂律方程			$\tau_0$ / Pa	Herschel-Bulkley 方程			滞后面积/ ( $s^{-1} \cdot Pa \cdot s^{-1}$ )
	$K/$ ( $Pa \cdot s^n$ )	$n$	$R^2$		$K'/$ ( $Pa \cdot s^n$ )	$n'$	$R^2$	
0%	33.56/22.28	0.468 0/0.519 3	0.997 7/0.997 7	4.79/13.21	30.67/15.66	0.48/0.58	0.997 8/0.999 6	14 810
0.06%	27.73/16.92	0.440 6/0.509 9	0.998 7/0.997 9	4.77/8.78	24.61/12.33	0.46/0.56	0.998 9/0.999 4	10 210
0.18%	31.89/16.65	0.396 6/0.492 7	0.999 4/0.997 6	1.76/8.50	30.58/11.97	0.40/0.55	0.999 4/0.999 4	10 590
0.30%	24.18/12.72	0.409 7/0.501 9	0.998 5/0.998 2	6.43/6.03	19.68/9.48	0.44/0.55	0.999 3/0.999 6	9 108

注:“/”前数据为上行线拟合参数,“/”后数据为下行线拟合参数。

阿拉伯胶与马铃薯淀粉混合体系及原淀粉糊均表现出相似的顺时针滞后环状,即在剪切速率增大的方向上的剪切应力大于相应的剪切速率减小方向上的剪切应力。淀粉的触变滞后现象是由于外部的剪切作用对体系内部整齐的网格结构有一定的拆散度,随着剪切速率的增加,拆散程度加大;当剪切速率逐渐降低时,结构的恢复速率在短时间内不能完全跟随上拆散速率,粘性变化曲线不能恢复到原来曲线,因此,形成滞后环,出现触变性。加入阿拉伯胶后,胶体与淀粉分子产生一定的相互作用,从而使这个网格结构更加牢固,不易受到外力的破坏,因此,滞后环面积明显减小。

两种模型反映的结论基本一致。

马铃薯淀粉与阿拉伯胶混合体系在加热糊化的过程中,胶体分子与直链淀粉分子间产生一定的相互作用,形成部分氢键,从而使其支链淀粉分子含量相对提高,体系表现为假塑性增强。但由于阿拉伯胶的高分支结构,使其与直链淀粉分子间产生的作用力较弱,因此, $n$  值降低程度不大。同时,在外力剪切下,部分氢键受到破坏,使得在下行线时的  $n$  值变化程度降低。

### 3 结 语

1) 阿拉伯胶可显著降低马铃薯淀粉糊化黏度,提高淀粉糊的热稳定性,但在冷却过程中,淀粉黏度明显上升,回生程度略有增加。且随着胶体浓度的增加,作用更加明显。

2) 马铃薯淀粉/阿拉伯胶混合体系具有较好的耐盐、耐酸性,在糖介质中可表现出更高的黏度。

3) 静态流变实验表明加入阿拉伯胶后的淀粉糊仍为假塑性流体,与原淀粉相比,假塑性增强,滞后环面积明显减小。

### 参考文献 (References):

- [1] Christianson D D. Hydrocolloid Interactions with Starches[M]. Westport: AVI Publishing Company, 1982.
- [2] Mandala I G, Bayas E. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions [J]. **Food Hydrocolloids**, 2004, 18(2): 191- 201.
- [3] 赵思明,熊善能,姚霓. 稻米淀粉的糊化动力学研究[J]. 粮食与饮料工业, 2002(3): 9- 11.  
ZHAO Si-ming, XIOANG Shan-neng, YAO Ni. Study on the gelatinization kinetics of rice starch[J]. **Cereal And Feed Industry**, 2002(3): 9- 11(in Chinese)
- [4] 柴春祥. 黄原胶对马铃薯淀粉流变学特性的影响[J]. 食品工业科技, 2007: 115- 118.  
CAI Chun-xiang. Effect of Xanthan on rheological properties of pastes of potato starch [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2007: 115- 118(in Chinese)
- [5] Bao Wang, Li- Jun Wang, Dong Li, et al. Rheological properties of waxy maize starch and xanthan gum mixtures in the presence of sucrose [J]. **Carbohydrate Polymers**, 2009.

(责任编辑:朱明)