

文章编号:1000-5773(2008)04-0439-06

# 动态瞬时高压作用对膳食纤维 酶解速度的影响\*

万 婕<sup>1,2</sup>, 刘成梅<sup>1,2</sup>, 蓝海军<sup>1,2</sup>, 涂宗财<sup>1,2</sup>, 刘 伟<sup>1,2</sup>

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047;

2. 南昌大学中德食品工程中心, 江西南昌 330047)

**摘要:**对纤维素酶在动态瞬时高压处理后膳食纤维的酶解速度进行了研究。豆渣膳食纤维(Dietary Fiber, DF)经微射流均质机的瞬时高压作用(Instantaneous High Pressure, IHP),在不同的压力以及同一压力的不同作用次数下产生不同粒径和密度,它们对应的酶解速度是不同的。纤维素酶水解膳食纤维产生纤维二糖和葡萄糖等还原糖,通过测定水解后还原糖的含量判断不同粒径和密度的膳食纤维的酶解速度。结果表明,在 40~90 MPa 的压力范围内,物料粒径随压力的增大呈显著下降,物料密度随之增大,酶解速度增大,在 90 MPa 的均质压力下物料粒径达到最小,为 202.4 nm;当压力继续增大时,物料因膨化作用,物料粒径呈增大趋势,但其密度开始减小,酶解速度继续增大,在 140 MPa 的均质压力下物料密度达到最小,为 1.027 g/mL,此时酶解后还原糖含量最高,酶解速度最快。压力超过 140 MPa 后,由于超微颗粒间的团聚,物料的密度和粒径均增大,酶解速度减小。在 90 MPa 和 140 MPa 下分别对物料进行多次的瞬时高压处理,发现随处理次数的增多,物料粒径增大,体系密度先减小后增大,酶解速度减小。

**关键词:**膳食纤维;瞬时高压作用;粒度分布;密度;酶解速度

**中图分类号:**TS205.9;O521.9

**文献标识码:**A

## 1 引 言

膳食纤维(Dietary Fiber, DF)的生理功能在很大程度上与其物理化学性质有关,微射流均质机的动态瞬时高压作用对膳食纤维的物理化学性质有极大的影响,直观表现在对膳食纤维的粒度分布和体系密度的影响。因此膳食纤维的粒度和密度的变化对其生理功能有着不可忽视的影响。研究资料表明,膳食纤维的粒度和密度越小,则其比表面积越大,其持水力和膨胀性也会有相应的变化,膳食纤维的生理功能就会受到一定的影响<sup>[1]</sup>。瞬时高压可以对膳食纤维起到改性作用,物料在压力的推动下快速地通过 Microfluidizer 微射流仪的处理腔,膳食纤维通过处理腔时受到剪切、碰撞、粉碎等机械力作用,使物料得到了超微化,进而对其理化性质产生了影响<sup>[2-3]</sup>。

国内外对高压作用下的酶解做了一些工作,但主要是以静态超高压(High Hydrostatic Pressure, HHP)作为研究手段的,比如 Elena Peñas 等<sup>[4]</sup>研究了超高压对大豆蛋白酶解产物的影响;叶怀义等<sup>[5]</sup>研究了超高压对淀粉酶解程度的影响。本研究选用大豆膳食纤维作为原料,采用动态瞬时高压技术对膳食纤维进行处理,测定不同压力以及不同处理次数下膳食纤维的粒径和体系密度,并以酶解后还原糖

\* 收稿日期:2007-11-05;修回日期:2008-03-20

基金项目:国家自然科学基金(20766004);863 重点项目(2007AA100403);食品科学与技术国家重点实验室目标导向资助项目(SKLF-MB-200808);教育部“长江学者和创新团队发展计划”(IRT0540);江西省学科带头人项目(050006)

作者简介:万 婕(1983-),女,博士研究生,主要从事食物资源的开发与利用研究. E-mail:jw10421jx@yahoo.com.cn

通讯作者:刘成梅(1963-),男,博士,教授,主要从事食品加工新技术的研究. E-mail:chengmeiliu@yahoo.com.cn

的含量作为指标来判断不同压力下酶解速度的快慢。

## 2 材料与方 法

### 2.1 材料与试剂

材料:新鲜豆渣。试剂:木瓜蛋白酶(酶活大于或等于 6 000 U/mg)(广西杰沃利生物公司),纤维素酶(酶活大于或等于 105 U/mg)(上海珮立生物工程有限公司),氢氧化钠,盐酸,碱性酒石酸铜液,乙酸锌溶液,10.6%亚铁氢化钾溶液,无水葡萄糖,乳化剂,稳定剂。

### 2.2 主要仪器与设备

GYS-200 高压均质机(上海申鹿均质机有限公司),NCJJ-0.2/150 纳米级超高压均质机(廊坊通用机械有限公司),Microfluidizer processor M-700 微射流仪(美国 Microfluidics 公司),FJ-200 高速分散均质机(上海标本模型厂),NICOMP 380/ZLS 纳米粒度分析仪(美国 PSS 粒度分析仪公司),MDMDY-350 全自动密度仪(中山美迪分析仪器厂)等。

### 2.3 方 法

#### 2.3.1 膳食纤维溶液的制备<sup>[6]</sup>

原料→预处理→碱液处理→离心→取滤渣,漂洗至中性→蛋白酶水解→离心,去除水分→清水洗涤滤渣→取样保存→均质处理→瞬时高压(IHP)处理→不同压力下的膳食纤维样品。

#### 2.3.2 不同压力和不同作用次数下膳食纤维粒度分布的测定

采用美国 PSS(Particle Sizing Systems)公司生产的 NICOMP 380/ZLS 纳米粒度分析仪对不同瞬时压力以及不同作用次数下的纤维样品进行粒度分布和平均粒度检测。分析粒度时所配制的溶液浓度应在 0.01%~1%之间,用乙醇作为溶剂进行分散,经超声波处理<sup>[7]</sup>,以达到更好的分散效果。

#### 2.3.3 不同压力和不同作用次数下膳食纤维体系密度的测定

采用 MDMDY-350 全自动密度仪对不同瞬时压力和不同处理次数下的纤维样品进行密度测定。

#### 2.3.4 膳食纤维溶液的酶解

精确量取各个压力下的等量膳食纤维溶液,在 35 ℃、pH 值为 6.0 的条件下加入等量的纤维素酶,酶解 3 h,在酶解过程中不断进行搅拌使酶解更加充分。酶解后将温度同时升到 100 ℃进行灭酶,冷却后待测。

#### 2.3.5 酶解后还原糖的测定<sup>[8-9]</sup>

采用直接滴定法,测定各个压力下不同粒度分布的膳食纤维酶解后还原糖含量。每个样品需平行测 3 次以上,取平均值。样品中还原糖含量(以葡萄糖计)

$$C_{\text{red sug}} = \frac{f \cdot V}{U \cdot W}$$

式中: $f$  为还原糖因素,即与 10 mL 费林氏试液相当的还原糖毫克数; $V$  为样品试液总体积(mL); $U$  为样品试液滴定量(mL); $W$  为样品质量(mg)。

## 3 结果与讨论

### 3.1 IHP 处理压力对物料粒径的影响

实验采用微射流均质机进行瞬时高压处理,膳食纤维浓度为 10%,从 40 MPa 至 180 MPa 每增加 10 MPa 进行一次取样,得到 15 个不同粒径的膳食纤维的样品。物料为连续进料,所有压力作用均为瞬间发生。处理过程中,在 40~90 MPa 范围内,一般随着压力的增加,物料的破碎程度增大,物料粒径随之减小,但在 100 MPa 以后,随着压力的增大,颗粒粒径出现一些波动,但总体呈增大趋势(如图 1 所示)。这可能是因为瞬间巨大的压力差作用,物料颗粒离子键遭到严重破坏,使物料颗粒发生细化、膨化作用,但当颗粒小到一定程度,分子间的碰撞作用加剧,范德华力、氢键在颗粒间起主要作用,细小的物料颗粒重新聚集,形成大的颗粒。

实验表明在不同的压力下,纤维的粒度有着明显的变化,压力为 90 MPa 下的粒度分布如图 2 所

示,此时物料平均粒径最小,为 204.4 nm。

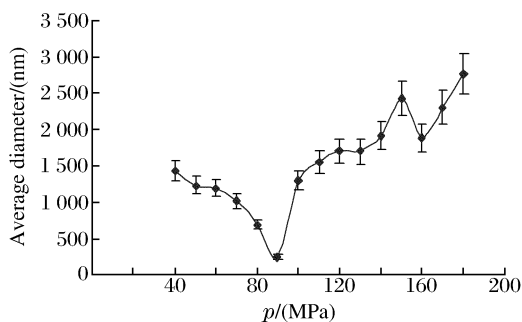


图 1 不同的处理压力对物料粒径的影响  
Fig. 1 The effect of different pressures on the granularities of the materials

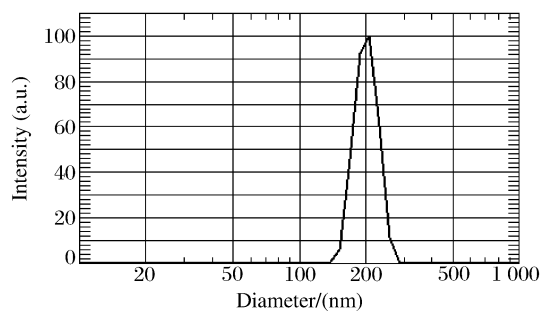


图 2 压力为 90 MPa 的粒度分布  
Fig. 2 Particle size distribution under pressure of 90 MPa

### 3.2 IHP 处理压力对物料密度的影响

实验中,对不同压力处理后的样品用密度仪进行密度测定,结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,在 40~140 MPa 压力范围内随着压力的增大,密度先缓慢增大后逐渐减小,在 90 MPa 时出现峰值,在 140 MPa 时物料密度最小,为 1.027 g/mL,当压力大于 140 MPa 时体系密度又开始变大,分析其原因可能是不同压力段微射流均质机对物料的作用效果不同。在 40~90 MPa 物料通过微射流处理腔时受到剪切、碰撞、粉碎等机械力作用,使大颗粒破碎、分散,结构更加紧凑,物料粒度变小,密度增大。当压力继续增大时(90~140 MPa),由于巨大压力差的作用,物料颗粒发生膨化,使结构紧凑的膳食纤维变得蓬松,密度开始减小,140 MPa 达到最小值。当压力大于 140 MPa 时,高压作用使物料发生彻底破裂,微小颗粒间的团聚导致物料的密度升高,测量粒度变大。导致微粒团聚的原因可能是分子间的范德华力或是由使得体系的总表面的极小化的驱动力<sup>[10]</sup>。

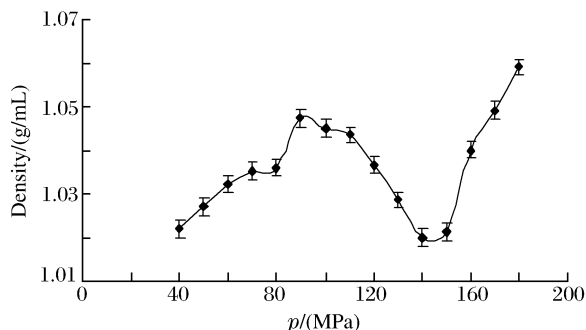


图 3 压力对膳食纤维密度的影响  
Fig. 3 The effect of different pressures on the density of DF

### 3.3 同一压力下 IHP 处理次数的不同对膳食纤维粒度分布和密度的影响

从 3.1 节和 3.2 节中可以看出,90 MPa 和 140 MPa 为两个特殊压力,分别为膳食纤维粒径最小和密度最小的两个压力,对这两个压力处理的膳食纤维样品分别进行 2 次和 3 次的 IHP 处理,对不同处理次数的样品进行粒度分布和密度测定,结果见表 1 和图 4。

表 1 同一压力下不同处理次数对膳食纤维粒径和密度的影响

Table 1 The effect of different processing times at the same pressure on the density and granularity of DF

Sample	Pressure /(MPa)	Processing time	Granularity/(nm)	Density $\rho$ /(g/mL)
1	90	1	202.4±53.8	1.0472
2	90	2	1547.4±143.6	1.0344
3	90	3	1810.4±120.8	1.0517
4	140	1	1915.0±205.1	1.0198
5	140	2	2704.9±196.3	1.0176
6	140	3	2884.4±245.5	1.0249

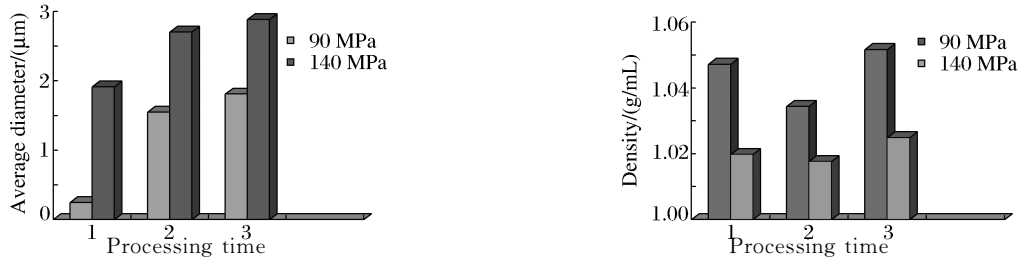


图4 同一压力下处理次数对粒径和密度的影响

Fig. 4 The effect of different processing times at the same pressure on the density and granularity of the materials

从表1和图4可以看出,随处理次数的增多,样品的粒径明显增大,样品密度先减小后增大,原因可能是因为二次瞬时高压处理后,物料颗粒发生膨化,导致粒径变大、结构蓬松,但是3次处理后物料颗粒出现自吸附现象,发生严重团聚,进而导致粒径继续变大,密度上升。

### 3.4 物料粒径和密度的变化对酶解速度的影响

纤维素酶水解膳食纤维产生纤维二糖和葡萄糖等还原糖,通过滴定法测定水解后还原糖的含量,判断不同压力处理后不同粒度分布和不同密度的膳食纤维的酶解速度。将所测数据及计算结果列于表2中。

表2 膳食纤维平均粒度与还原糖含量关系表

Table 2 The relation between the pressure and deoxidized sugar content of DF

Pressure /(MPa)	Granularities /(nm)	Density /(g/mL)	Sample consumption/(mL)				Reducing sugars /(%)
			Num1	Num2	Num3	Average	
Material	>10 μm	1.0148	14.20	14.15	14.20	14.18	14.1
40	1434.0±102.1	1.0220	10.90	11.00	11.00	10.97	18.2
50	1227.4±133.2	1.0270	9.70	9.75	9.60	9.68	20.7
60	1187.5±98.5	1.0322	8.85	9.05	8.80	8.90	22.5
70	1016.4±140.0	1.0352	8.45	8.55	8.30	8.43	23.7
80	694.1±89.3	1.0359	6.70	6.60	6.65	6.69	29.9
90(1)	202.4±53.8	1.0472	6.25	6.20	6.10	6.15	32.5
90(2)	1547.4±68.7	1.0344	8.60	8.60	8.50	8.57	23.3
90(3)	1810.4±115.3	1.0517	8.80	8.75	8.70	8.75	22.9
100	1293.2±93.1	1.0449	6.10	6.00	6.10	6.07	32.9
110	1547.4±201.1	1.0434	6.00	5.85	5.95	5.93	33.7
120	1701.4±153.2	1.0366	5.95	6.05	5.90	5.97	33.5
130	1696.4±114.3	1.0285	5.80	5.90	5.80	5.83	34.3
140(1)	1915.0±103.5	1.0198	5.55	5.50	5.50	5.52	36.2
140(2)	2426.5±223.3	1.0176	5.60	5.60	5.60	5.60	35.7
140(3)	1881.9±201.5	1.0249	6.00	5.90	6.00	5.97	33.5
150	2304.1±178.3	1.0212	5.75	5.80	5.80	5.78	34.6
160	2752.7±325.1	1.0400	6.23	6.25	6.20	6.23	32.1
170	2304.1±86.5	1.0490	7.41	7.38	7.38	7.39	27.1
180	2752.7±115.3	1.0590	9.22	9.25	9.20	9.22	21.7

Note: Material means untreated sample, (1), (2), (3)—Processing time.

从表2中可以看出,膳食纤维的粒径、密度与酶解速度之间都有很大的关系,在90 MPa之前,粒度越小酶解速度就越大;90 MPa以后,酶解速度随密度变化而变化,密度越小酶解速度越大。

根据表2可得图5,从图5可以看出,在40~90 MPa范围内随着压力的增大还原糖含量在增大,说明酶解速度随着膳食纤维颗粒的减小而增大。但是当压力超过90 MPa时又出现另一种情况,也就是在100~140 MPa范围内,随着压力的增大密度开始减小,还原糖含量继续增大。如前所述,此阶段纤维颗粒由于高压膨化作用导致的疏松结构有利于纤维素酶的作用。在140 MPa时出现波峰,此时密度最小,酶解后还原糖含量最大,酶解速度最大。当压力继续增大时,微小颗粒间的团聚使得酶的作用面积变小,所以酶解速度又开始减小。

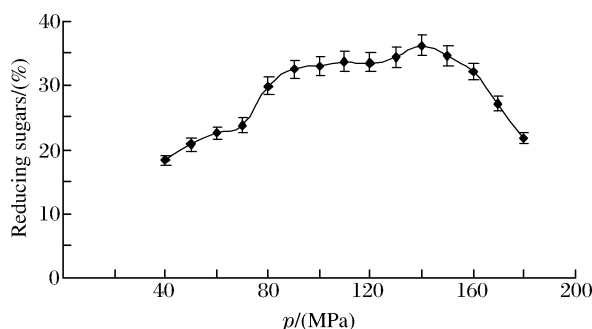


图5 瞬时压力与还原糖含量关系  
Fig. 5 The relation between pressure and reducing sugar content

## 4 结 论

膳食纤维粒径和密度随处理压力以及处理次数的变化而变化,当压力从40 MPa增大到90 MPa时,粒径从1434 nm减小到245.7 nm(最小粒径),密度从1.0220 g/mL增大到1.0472 g/mL(出现波峰),在此压力下,物料粒径随处理次数的增多而增大,处理3次后粒径从202.4 nm增大到1810.4 nm,密度先增后减。当压力继续增大时,物料粒径出现一些波动,但总体呈增大趋势,到180 MPa时粒径达到2752.7 nm,与90 MPa相比增加了10倍多,物料密度先减小后增大,在140 MPa时密度达到最小,为1.0198 g/mL。在此压力下,物料粒径和密度随处理次数变化同90 MPa时的情况。

膳食纤维粒径和密度的变化影响其酶解速度的变化,在40~90 MPa压力范围内,粒径减小,密度增大,酶解后还原糖含量从18.2%增大到32.5%,酶解速度增大;在90~140 MPa压力范围内,物料粒径增大,密度减小,酶解速度继续增大,在140 MPa时酶解后还原糖量达到最大,为36.2%(此时酶解速度最大);当压力大于140 MPa时酶解速度随物料粒径和密度的增大而减小。在90 MPa的处理压力之前,膳食纤维酶解速度与其颗粒大小有关:颗粒越小,酶解速度越大;在90~140 MPa,其酶解速度又随体系密度的变化而变化,密度越小,颗粒结构越松散,其酶解速度越大。当压力大于140 MPa时,微小颗粒间的团聚使物料密度、粒径均增大,酶解速度减小。

## References:

- [1] Liu C M, Liu W, Lin X Y, et al. Particle Size Distribution Analysis of Particle in Microfluidizer Treated Dietary Fiber [J]. Food Science, 2004, 25(1): 52-55. (in Chinese)  
刘成梅, 刘 伟, 林向阳, 等. Microfluidizer对膳食纤维微粒粒度分布的影响 [J]. 食品科学, 2004, 25(1): 52-55.
- [2] Xiong H W. On the Possibility of Using Instantaneous High Pressure Treatment to Modify Properties of Dietary Fiber [D]. Nanchang: Nanchang University, 2006. (in Chinese)  
熊慧薇. 瞬时高压作用对膳食纤维改性的影响 [D]. 南昌: 南昌大学, 2006.
- [3] Liu C M, Xiong H W, Liu W, et al. On the Possibility of Using Instantaneous High Pressure Treatment to Modify Physical Properties of Dietary Fiber in Soybean Dregs [J]. Food Science, 2005, 26(9): 112-115. (in Chinese)  
刘成梅, 熊慧薇, 刘 伟, 等. IHP处理对豆渣膳食纤维的改性研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(9): 112-115.
- [4] Peñas E, Préstamo G, Polo F, et al. Enzymatic Proteolysis, under High Pressure of Soybean Whey: Analysis of Peptides and the Allergen Gly m 1 in the Hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2006, (99): 569-573.
- [5] Ye H Y, Ye T H, Yang S L. The Effect on the Degree of Starch Enzyme Hydrolysis by High Pressure [J]. Journal of Heilongjiang Commercial College, 2000, 16(2): 32-34. (in Chinese)  
叶怀义, 叶瞰昊, 杨素玲. 压力对淀粉酶解程度的影响 [J]. 黑龙江商学院学报(自然科学版), 2000, 16(2): 32-34.
- [6] Chen X, Yang X J, Xu Y H, et al. The Research of Conditions for Extraction of Soybean Dregs Natural Cellulose [J]. Soybean Science, 2001, 20(2): 128-132. (in Chinese)

- 陈霞,杨香久,徐永华,等.豆渣膳食纤维制备工艺的研究[J].大豆科学,2001,20(2):128-132.
- [7] Wang L, Sun B S, Wang Z H. Appraisal Methods of Particle Size Measurement [J]. China Powder Science and Technology, 1998, 4(2): 39-41. (in Chinese)
- 王丽,孙本双,王战宏.粉体粒度测试方法评价[J].中国粉体技术,1998,4(2):39-41.
- [8] Wu P. Food Analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1983: 136-139. (in Chinese)
- 吴平.食品分析[M].北京.轻工业出版社,1983:136-139.
- [9] Zhu J H, Ye X Z. Method for Determination of Reducing Sugar is Improve [J]. Hangzhou Food Science and Technology, 2001, (4): 3-4. (in Chinese)
- 朱加虹,叶雪珠.还原糖测定法的改进[J].杭州食品科技,2001,(4):3-4.
- [10] Ma W Y, Ding M Y, Yang H J, et al. Particle Size Analysis of Micro-Nano Dispersion System [J]. Science and Technology of Lcic, 2001, (4): 213-216. (in Chinese)
- 马万云,丁明玉,洋海军,等.微纳颗粒分散体系的粒度分析[J].石化技术与应用,2001,(4):213-216.

## Effects of Dynamic Instantaneous High Pressure Treatment on the Enzymolysis Rate of Dietary Fiber

WAN Jie<sup>1,2</sup>, LIU Cheng-Mei<sup>1,2</sup>, LAN Hai-Jun<sup>1,2</sup>,  
TU Zong-Cai<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology,  
Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. Sino-German Food Engineering Center, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

**Abstract:** The enzymolysis rates of cellulase on dietary fiber under dynamic instantaneous high pressure (IHP) were studied. Utilizing the Microfluidizer machinery as the carrier of Instantaneous High Pressure treatment to deal with dietary fiber from bean dregs, we got dietary fiber of different granularities and densities under different pressures and different times under the same pressure. The corresponding enzymolysis rates of cellulase on dietary fiber were different. The hydrolysates of cellulase on dietary fiber were of some reducing sugars, such as cellobiose and glucose. The enzymolysis rates could be estimated by measuring the contents of the reducing sugars in the dietary fiber of different granularities and densities. The results indicated that with the increase of the pressure in the range of 40~90 MPa, the granularities of the materials reduced drastically, the densities of the materials and the enzymolysis rates increased. And the granularity of the materials was in minimum of 202.4 nm; when the pressure went on increasing, the granularities of the materials tended to increase because of the occurrence of expanding in the system, but the densities started to decrease and the enzymolysis rates kept increasing. The density of the materials was in minimum of 1.027 g/mL, the contents of the reducing sugars after enzyme hydrolysis was maximal at this time. When the pressure was higher than 140 MPa, the granularities and density of the materials increased, the enzymolysis rates decreased. It could be due to the reuniting of particles in the system. When the materials were treated separately with instantaneous high pressure between 90 MPa and 140 MPa for several times, the granularities of the materials increased with the increase of dealing times, the density decreased first and then increased, and the enzymolysis rates decreased.

**Key words:** dietary fiber; instantaneous high pressure (IHP); size distribution; density; enzymolysis rates