

文章编号:1009-038X(2004)02-0076-06

大蒜中硫代亚磺酸酯的提取工艺

李瑜, 许时婴

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036)

摘要: 硫代亚磺酸酯是大蒜中的活性成分, 由大蒜中非蛋白质氨基酸——蒜氨酸(alliin)经内源酶蒜氨酸酶(alliinase, 蒜氨酸裂合酶, EC4. 4. 1. 4)的酶解作用而生成. 作者采用溶剂法以温和的条件提取大蒜中硫代亚磺酸酯, 研究了乙醇提取前的酶解过程以及乙醇提取中各因素对硫代亚磺酸酯提取率的影响, 采用响应面分析得到醇提硫代亚磺酸酯的最佳工艺条件.

关键词: 大蒜; 大蒜提取物; 硫代亚磺酸酯

中图分类号: S 633. 1

文献标识码: A

Extraction of Thiosulfinates in Garlic

LI Yu, XU Shi-ying

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Thiosulfinates are the best known biological active compound in garlic. It is produced by the interaction of nonprotein amino acid alliin with enzyme alliinase (alliin lyase, EC 4. 4. 1. 4). In this paper, thiosulfinates were extracted by solvent under mild condition. The effect of different factors of enzyme hydrolysis and ethanol extract processing on extract ratio of thiosulfinates was studied. Response surface analysis software was used to determine the optimal extration conditions using ethanol as the extractant.

Key words: garlic; garlic extract; thiosulfinates

我国是大蒜的主要生产国, 常年的种植面积为 20~26 万 hm^2 , 总产量为 400 万 t, 居世界首位, 其产量占世界总产量的 1/4. 大蒜不仅含有丰富的营养成分, 而且还含有多种营养保健素. 20 世纪 90 年代, 日本将大蒜归类于“功能性食品”^[1]. 大蒜的经济和医疗价值很高, 具有抗菌、抗病毒、抗肿瘤、降血脂、降血压、治疗心脑血管疾病、提高机体免疫力、降血糖、解毒等功效^[2~12], 而大蒜所具有的许多生物活性功能都归因于所含有的有机硫化物特别是硫代亚磺酸酯类($\text{R}-\text{S}-\text{S}(\text{O})-\text{R}$). 蒜素(二烯

丙基硫代亚磺酸酯)是最主要的硫代亚磺酸酯类, 大约占破碎大蒜所形成的总硫代亚磺酸酯质量的 70%^[13]. 所有的硫代亚磺酸酯都具有和蒜素相同的生物活性功能^[13]. 1948 年, Arthur Stoll 和 Ewald Seebeck 发现蒜素等硫代亚磺酸酯是在大蒜被切割或挤压条件下, 由原来无味的蒜氨酸经内源酶蒜氨酸酶的酶解作用而生成的. 完整无损的大蒜, 其蒜氨酸和蒜氨酸酶存在于大蒜的不同部位, 只有当大蒜破损或捣碎, 使两者相互接触方能水解生成蒜素及其它硫代亚磺酸酯^[14], 反应过程见图 1.

收稿日期: 2003-05-26; 修回日期: 2003-06-17.

作者简介: 李瑜(1976-), 女, 河南商丘人, 食品科学与工程博士研究生.

万方数据

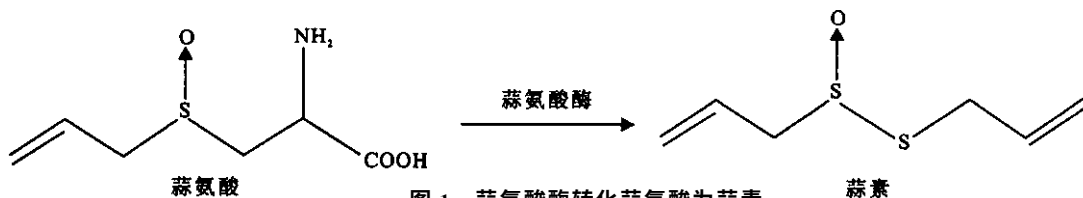


图1 蒜氨酸酶转化蒜氨酸为蒜素

Fig.1 The reaction of alliinase changed alliin to alicin

从大蒜中提取总硫代亚磺酸酯国内尚未见文献报道,仅有提取蒜油的报道,提取蒜油的方法主要是用水蒸气常压蒸馏法提取^[15,16]。国外常用室温条件下水蒸气减压蒸馏法或有机溶剂浸提法进行提取。由于硫代亚磺酸酯不稳定,提取条件的改变往往会导致其转变为亚磺酸酯二硫化物或为饱和及不饱和的多硫化物。而溶剂提取法硫代亚磺酸酯破坏较少,可以得到高质量的大蒜提取物。也有资料报道在溶剂浸提硫代亚磺酸酯前,将蒜泥在室温下进行酶解^[17~19]。作者先将蒜泥进行酶解,然后再用乙醇提取,研究酶解过程和乙醇提取中各因素对硫代亚磺酸酯提取率的影响,得到最佳的酶解和醇提的工艺条件。

1 材料与方法

1.1 实验材料

山东无苔大蒜:无锡青山市场市售。

1.2 主要试剂

5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB):比利时进口分装;Hepes:Sigma公司进口分装;L-半胱氨酸:生化试剂。

1.3 主要仪器

722分光光度计,打浆机,恒温振荡水浴,真空泵,旋转蒸发仪。

1.4 实验方法

1.4.1 硫代亚磺酸酯提取工艺流程 去皮大蒜
 低温破碎 → 蒜泥 $\xrightarrow{\text{酶解,溶剂浸提,过滤}}$ 滤液
 真空脱溶(室温) → 大蒜提取物

1.4.2 硫代亚磺酸酯测定 取10 mmol/L半胱氨酸溶液5 mL,加1 mL去离子水,摇匀后取1 mL于100 mL容量瓶中,加水至刻度。取稀释100倍的半胱氨酸溶液4.5 mL与1.5 mmol/L DTNB溶液0.5 mL,26℃下保温15 min,412 nm波长下测定其初始吸光度值(A_0)。

取10 mmol/L半胱氨酸溶液5 mL,加入1 mL蒜汁,在26℃下保温15 min后,取1 mL反应混合液于100 mL容量瓶中,加水至刻度。取稀释100倍的反应混合液4.5 mL与1.5 mmol DTNB溶液

0.5 mL,26℃下保温15 min,412 nm波长下测定其初始吸光度值(A)。

$$\Delta A_{412} = A_0 - A$$

$$C = (\Delta A_{412} \times \beta) / (2 \times 14150)$$

式中: C 为硫代亚磺酸酯的浓度, β 为稀释倍数,14150为2-硝基-5-硫代苯甲酸(NTB)在412 nm处的摩尔消光系数(1 cm的光径)。

1.4.3 酶解过程的单因素试验

1) 酶解时间对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯含量的影响:在乙醇提取前,利用大蒜中的内源酶蒜氨酸酶对蒜氨酸进行酶解使其充分生成硫代亚磺酸酯。固定酶解温度25℃,液料比1 g:5 mL,浸提时间2.0 h,浸提温度25℃,酶解时间分别取10,20,30,40,50 min。测定硫代亚磺酸酯提取率。

2) 酶解温度对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯含量的影响:固定酶解时间20 min,液料比为1 g:5 mL,浸提时间2.0 h,浸提温度25℃,酶解温度分别取20,25,30,35,40℃。测定硫代亚磺酸酯提取率。

1.4.4 醇提过程的单因素试验

1) 乙醇浸提时间对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响:浸提前在30℃条件下酶解11 min,固定25℃,液料比1 g:5 mL,振荡转速150 r/min,浸提时间分别为0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 h。测定硫代亚磺酸酯的提取率。

2) 乙醇浸提温度对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响:浸提前在30℃条件下酶解11 min,固定浸提时间1.5 h,液料比1 g:5 mL,浸提温度分别取15,20,25,30,35℃。测定硫代亚磺酸酯的提取率。

3) 液料比对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响:浸提前在30℃条件下酶解11 min,固定浸提温度25℃,浸提时间1.5 h,振荡转速150 r/min,液料比分别取1 g:1 mL,1 g:2.5 mL,1 g:5 mL,1 g:7.5 mL,1 g:10 mL。测定硫代亚磺酸酯的提取率。

1.4.5 酶解与醇提最佳工艺条件确定 采用响应面分析(RSM)研究酶解时间和温度以及醇提时间、温度、液料比同提取率的关系,采用三水平中心点

分析.

2 结果与讨论

2.1 大蒜主要组成

大蒜的主要成分见表 1.

表 1 大蒜主要成分

Tab.1 The main components of garlic

		%	
成 分	质量分数	成 分	质量分数
水分	62.64	还原糖	1.26
灰分	1.15	粗纤维	0.96
脂肪	0.23	蛋白质	5.69
总糖	15.67	硫代亚磺酸酯/ (mmol)	2.6

2.2 酶解过程各反应条件对硫代亚磺酸酯提取率的影响

2.2.1 酶解时间对硫代亚磺酸酯提取率的影响

由表 2 可以看出, 25℃下蒜泥中的蒜氨酸在蒜氨酸酶作用下酶解 10 min 后, 硫代亚磺酸酯提取率与未进行酶解过程的提取率相比明显提高, 从 42.34% 提高到 59.91%, 这是因为酶解使蒜氨酸和蒜氨酸酶进行充分反应. 但是硫代亚磺酸酯类极不稳定, 易降解, 所以随酶解时间延长, 会引起硫代亚磺酸酯挥发或转化成副产物, 尤其在空气中受热分解更快, 所以随着酶解时间延长硫代亚磺酸酯的提取率下降.

表 2 酶解时间对硫代亚磺酸酯提取率的影响

Tab.2 The effect of enzyme hydrolysis time on the extract ratio of thiosulfates

时间/min	提取率/%
0	42.34
10	59.91
20	53.60
30	51.35
40	50.00
50	48.65

2.2.2 酶解温度对硫代亚磺酸酯提取率的影响

由表 3 可以看出, 在 30℃ 以下, 硫代亚磺酸酯提取率随温度的升高而提高, 到达 30℃ 后再进一步升高温度, 硫代亚磺酸酯提取率又急剧下降. 这是因为在 30℃ 以下, 随着温度升高蒜氨酸酶的活性增高, 有资料报道蒜氨酸酶最适温度为 34~40℃^[20~22], 但由于硫代亚磺酸酯不稳定, 提取过程中条件稍微

剧烈一些就会导致其转变为亚磺酰基二硫化物或转变为饱和及不饱和的多硫化合物. 当温度超过 30℃ 后硫代亚磺酸酯破坏较严重. 为了使酶解过程中保持较大蒜氨酸酶活性以及使生成的硫代亚磺酸酯稳定性好^[23], 选择酶解温度为 30℃.

表 3 酶解温度对硫代亚磺酸酯提取率的影响

Tab.3 The effect of enzyme hydrolysis temperature on the extract ratio of thiosulfates

温度/℃	提取率/%
20	47.75
25	53.60
30	55.41
35	44.14
40	42.79

2.3 酶解时间和温度对提取率的影响

从表 4 和图 2 中可以看出, 时间对硫代亚磺酸酯提取率影响的变化趋势是先增大后减小, 当时间为 10 min 左右有极大值. 从方差分析来看 (见表 5), 时间是影响酶解的极显著因素. 温度的影响基本是先增后降, 在 30℃ 左右有极大值. 从方差分析来看, 酶解温度对硫代亚磺酸酯提取率的影响不显著.

表 4 酶解时间和温度对提取率的影响

Tab.4 The effect of enzyme hydrolysis time and temperature on the extract ratio of thiosulfates

实验号	时间/min	温度/℃	提取率/%
1	10	30	70.27
2	10	30	69.82
3	10	30	69.37
4	20	35	44.14
5	10	35	68.24
6	10	25	59.91
7	0	35	42.34
8	10	30	70.27
9	0	25	42.34
10	20	25	53.60
11	10	30	69.37
12	0	30	42.34
13	20	30	55.41

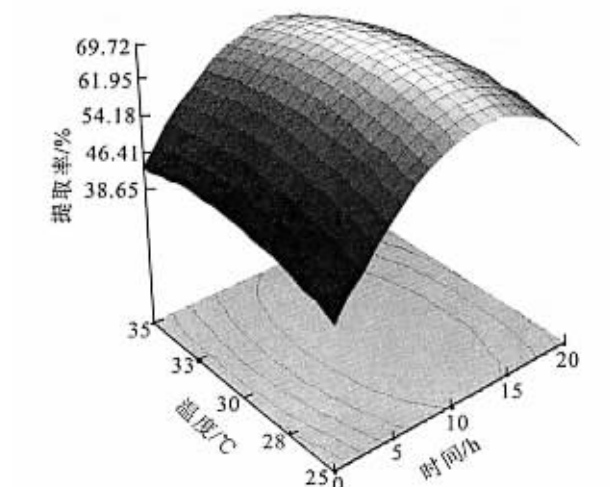


图 2 酶解温度和酶解时间对提取率的响应面

Fig. 2 The response surface of the effect of enzyme hydrolysis temperature and time on extract ratio

表 5 各因素方差分析					
Tab. 5 The square deviation of each factors					
方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	显著水平
模型	1684.71	5	336.94	30.97	0.0001 *
A	113.80	1	113.80	10.46	0.0144 *
B	0.21	1	0.21	0.020	0.8927
A ²	1077.33	1	1077.33	99.04	<0.0001 *
B ²	57.18	1	57.18	5.26	0.0556 *
AB	22.37	1	22.37	2.06	0.1947
误差	0.81	4	0.20		
总和	1760.85	12			

根据响应面分析各回归系数可以得到下面的数学模型:

提取率=69.48+4.35A-0.19B-19.75A²-2.36B²-2.36AB

式中:A 为酶解时间;B 为酶解温度.

从方差分析来看,此数学模型对硫代亚磺酸酯提取率的影响极其显著.

由响应面分析确定了酶解的最佳工艺条件:酶解时间 11 min,酶解温度 30 ℃.醇提前未进行酶解,硫代亚磺酸酯的提取率为 42.34%(见表 2).蒜泥在乙醇提取前先在 30 ℃条件下由内源酶蒜氨酸酶酶解 11 min,硫代亚磺酸酯的提取率可提高到 69.37%,比未经酶解的提取率增加了 27.03%.这是因为酶解过程是蒜氨酸和蒜氨酸酶充分反应的过程,缺少酶解则有一部分蒜氨酸不能生成硫代亚磺酸酯. 万方数据

2.4 醇提硫代亚磺酸酯的单因素试验

2.4.1 乙醇浸提时间对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响 由表 6 可知,随着乙醇浸提时间的延长硫代亚磺酸酯提取率迅速提高,在 1.5 h 后又随浸提时间的延长略有降低.这与酶解时间对提取率的影响具有相同的原因.由表 6 可知,乙醇提取硫代亚磺酸酯的提取时间应在 1.0~1.5 h 为宜.

表 6 乙醇浸提时间对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响

Tab. 6 The effect of ethanol extract time on garlic thiosulfonates extract ratio

乙醇浸提时间/h	提取率/%
0.5	62.16
1.0	74.32
1.5	74.32
2.0	70.27
2.5	68.47
3.0	67.22

2.4.2 乙醇浸提温度对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响 当温度从 15 ℃增加到 25 ℃时,随温度升高硫代亚磺酸酯的提取率略有提高,这表明在 25 ℃以下随浸提温度升高硫代亚磺酸酯在乙醇中的溶解度提高,而 25 ℃以上随浸提温度升高硫代亚磺酸酯被破坏速率同样增加且占主导地位,尤其是温度在 35 ℃以上硫代亚磺酸酯热分解迅速,这与文献[19]的报道一致,结果见表 7.

表 7 乙醇浸提温度对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响

Tab. 7 The effect of ethanol extract temperature on garlic thiosulfonates extract ratio

浸提温度/℃	提取率/%
15	67.48
20	71.62
25	74.32
30	67.12
35	60.81
40	48.64

2.4.3 乙醇浸提中液料比对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响 由表 8 可知,液料比从

1 mL : 1 g 增加到 2.5 mL : 1 g 时, 硫代亚磺酸酯提取率迅速增加, 但当液料比从 2.5 mL : 1 g 增加到 5 mL : 1 g 时, 硫代亚磺酸酯提取率增加幅度明显变缓.

表 8 乙醇浸提中液料比对大蒜提取物中硫代亚磺酸酯提取率的影响

Tab. 8 The effect of solvent/material on garlic thiosulfonates extract ratio

$V(\text{乙醇}) : m(\text{大蒜}) / (\text{mL} / \text{g})$	提取率 / %
1.0 : 1	59.01
2.5 : 1	70.71
5.0 : 1	74.32
7.5 : 1	67.57
10.0 : 1	63.06

2.5 乙醇浸提时间和温度及液料比(乙醇/大蒜)对提取率影响

乙醇浸提时间和温度及液料比(乙醇/大蒜)对提取率影响见表 9, 各因素方差分析见表 10.

表 9 响应面分析实验结果

试验号	时间/h	温度/℃	$V(\text{乙醇}) : m(\text{大蒜}) / (\text{mL} / \text{g})$	提取率/%
1	1.0	25	5 : 1	74.32
2	1.5	25	5 : 1	74.32
3	1.5	25	7.5 : 1	67.57
4	2.0	30	2.5 : 1	57.44
5	1.5	30	5 : 1	67.12
6	1.0	20	2.5 : 1	71.17
7	1.0	30	7.5 : 1	61.49
8	1.5	20	5 : 1	71.62
9	1.5	25	5 : 1	73.42
10	1.5	25	5 : 1	74.77
11	1.5	25	5 : 1	73.87
12	1.5	25	5 : 1	74.32
13	1.5	25	2.5 : 1	70.71
14	2.0	20	7.5 : 1	62.25
15	2.0	25	5 : 1	70.27

万方数据

表 10 各因素方差分析

Tab. 10 The square deviation of each factors

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	显著水平
模型	411.34	9	45.70	149.14	$<0.0001^*$
A	8.2	1	8.2	34.84	0.0020 *
B	10.13	1	10.13	43.01	0.0012 *
C	4.93	1	4.93	20.94	0.0060 *
A^2	7.09	1	7.09	30.12	0.0027 *
B^2	54.66	1	54.66	232.17	$<0.0001^*$
C^2	60.30	1	60.30	256.12	$<0.0001^*$
AB	0.17	1	0.17	0.70	0.4398
AC	2.51	1	2.51	10.67	0.0223 *
BC	1.98	1	1.98	8.40	0.0339 *
误差	1.05	4	0.26		
总和	412.52	14			

此数学模型的 F 值为 149.14, 表明此模型显著. $A, B, C, A^2, B^2, C^2, AC, BC$ 对硫代亚磺酸酯提取率的影响显著.

根据响应面分析可以得到下面的数学模型:

$$\text{提取率} = 74.05 - 2.02A - 2.25B - 1.57C - 1.65A^2 - 4.57B^2 - 4.80C^2 - 0.35AB + 1.37AC + 1.22BC$$

式中: A 为浸提时间, B 为浸提温度, C 为液料比.

由响应面分析确定乙醇浸提过程最佳工艺条件:

浸提前 30 ℃, 酶解 11 min, 浸提时间 1.0 h, 浸提温度 24 ℃, 液料比 $V(\text{乙醇}) : m(\text{大蒜}) = 4 \text{ mL} : 1 \text{ g}$.

3 结 论

采用溶剂法提取了大蒜中的生物活性成分——硫代亚磺酸酯, 研究了乙醇提取前的酶解时间和温度对硫代亚磺酸酯提取率的影响以及乙醇提取时间、温度及液料比对硫代亚磺酸酯提取率的影响, 结果表明: 酶解时间是影响硫代亚磺酸酯提取率的显著因素, 酶解过程最佳工艺条件为酶解温度 30 ℃, 酶解时间 11 min. 经酶解的大蒜提取物采用乙醇提取, 乙醇浸提时间、浸提温度、液料比都是影响硫代亚磺酸酯提取率的显著因素. 在交互作用中乙醇浸提时间与液料比以及乙醇浸提温度与液料比的交互作用显著. 最后确定醇提最佳工艺条件为: 30 ℃酶解 11 min, 乙醇浸提时间 1.0 h, 浸提温度 24 ℃, $V(\text{乙醇}) : m(\text{大蒜}) = 4 \text{ mL} : 1 \text{ g}$, 硫代亚磺酸酯提取率可达到 75.03%.

参考文献:

- [1] Ahmad J. Garlic a panacea for health and good taste? [J]. **Nutrition and Food Science**, 1996, 5(1):32—35.
- [2] Kim Jeong Youn, Lee Young Chun, Kim Keun Sung. Effect of heat treatments on the antimicrobial activities of garlic (*Allium sativum*) [J]. **Journal of Microbiology & Biotechnology**, 2002, 12(2):331—335.
- [3] Mei Chin Yin, Hui Ching Chang, Shyh Ming Tsao. Inhibitory effects of aqueous garlic extract, garlic oil and four diallyl sulphides against four enteric pathogens[J]. **Journal of Food and Drug Analysis**, 2002, 10 (2) :120—126.
- [4] Krest Ingo. Gender may affect the action of garlic oil on plasma cholesterol and glucose levels of normal subjects[J]. **Journal of Nutrition**, 2001, 131(5):1471—1478.
- [5] Lawson Larry D, Wang Z Jonathan. Allicin release under simulated gastrointestinal conditions from garlic powder tablets employed in clinical trials on serum cholesterol[J]. **Planta Medica**, 2001, 67(1): 13—18.
- [6] Lawson Larry. Effect of purified allicin, the major ingredient of freshly crushed garlic, on cancer cell proliferation[J]. **Nutrition & Cancer**, 2000, 38(2):245—254.
- [7] Mousa Ahmed S. Discovery of angiogenesis inhibition by garlic ingredients; Potential anti-cancer benefits[J]. **FASEB Journal**, 2001, 15(4):117.
- [8] Yin Mei Chin, Cheng Wen-Shen. Antioxidant activity of several *Allium* members[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 1998, 46(10):4097—4101.
- [9] Wu CC, Sheen LY, Chen HW, *et al.* Effects of organosulfur compounds from garlic oil on the antioxidation system in rat liver and red blood cells[J]. **Food and Chemical Toxicology**, 2001, 39 (6):563—569.
- [10] Kaye Alan D, De Witt Bracken J, Anwar Muhammad, *et al.* Analysis of responses of garlic derivatives in the pulmonary vascular bed of the rat[J]. **Journal of Applied Physiology**, 2000, 89(1):353—358.
- [11] Chih Chung Wu, Lee Yan Sheen, Haw Wen Chen, *et al.* Differential effects of garlic oil and its three major organosulfur components on the hepatic detoxification system in rats[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50 (2):378—383.
- [12] Haw Wen Chen, Jaw Ji Yang, Chia Wen Tsai, *et al.* Dietary fat and garlic oil independently regulate hepatic cytochrome P450 2B1 and the placental form of glutathione S-transferase expression in rats[J]. **Journal of Nutrition**, 2001, 131 (5) :1438—1443.
- [13] E Block. The organosulfur chemistry of the genus *Allium*-Implications for the organic chemistry of sulfur[J]. **Angew Chem**, 1992, 31(9):1135—1178.
- [14] Krest I, Glodek J, Keusgen M. Cysteine sulfoxides and alliinase activity of some *Allium* species[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2000, 48(8):3753—3760.
- [15] 魏金凤, 宋世林, 叶先锋. 大蒜精油提取后废弃物综合利用的研究——蒜渣综合利用的意义及成分分析[J]. **信阳师范学院学报**, 2001, 14(1):96—98.
- [16] 乔旭光, 韩雅珊, 张振华, 等. 影响大蒜精油提取得率的工艺参数研究[J]. **农业工程学报**, 2001, 17(3):115—117.
- [17] Calvey EM, Matusik JE, White KD, *et al.* Off-line supercritical fluid extraction of thiosulfinates from garlic and onion [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1994, 42 (6):1335—1341.
- [18] Calvey EM, Matusik JE, White KD, *et al.* *Allium* chemistry: supercritical fluid extraction and LC-APCI-MS of thiosulfinates and related compounds from homogenates of garlic, onion, and ramp. Identification in garlic and ramp and synthesis of 1-propanesulfinothioic acid S-allyl ester[J]. **J Agric Food Chem**, 1997, 45 (11) :4406—4413.
- [19] Block E, Naganathan S, Putman D, *et al.* *Allium* chemistry: HPLC analysis of thiosulfinates from onion, garlic, wild garlic (Ramsons), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and Chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples[J]. **J Agric Food Chem**, 1992, 40(12): 2418—2430.
- [20] Rabinkov A, Ziao Zhu Zhu, Grafi G, *et al.* Alliin lyase (alliinase) from garlic (*Allium sativum*). Biochemical characterization and cDNA cloning[J]. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 1994, 48 (3) :149—171.
- [21] Miron Talia, Rabinkov Aharon, Mirelman David, *et al.* A spectrophotometric assay for allicin and alliinase (Alliin lyase) activity; Reaction of 2-nitro-5-thiobenzoate with thiosulfinates[J]. **Analytical Biochemistry**, 1998, 265(2):317—325.
- [22] Krest Ingo, Keusgen Michael. Quality of herbal remedies from *Allium sativum*; Differences between alliinase from garlic powder and fresh garlic[J]. **Planta Medica**, 1999, 65(2):139—143.
- [23] Lawson Larry D, Wang Z Jonathan. Low allicin release from garlic supplements: A major problem due to the sensitivities of alliinase activity[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2001, 49(5):2592—2599. (责任编辑:朱 明)