

硫酸钡吸光比浊法检测大蒜素影响因素分析

由 昆,毕东方,沈东悦,傅金祥

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 基于硫酸钡吸光比浊法,提出一种大蒜废水中大蒜素的检测方法。方法 通过单因素试验和 $L_9(3^4)$ 正交试验确定影响测定因素的主次关系和最佳测定条件,通过精密度试验及加标回收试验,验证方法的重现性和准确性。结果 最佳测定参数为波长为415 nm,质量浓度10% $BaCl_2$ 溶液5 mL, pH=1,质量浓度2%聚乙烯醇溶液1 mL,稳定时间15 min,吸光度与硫酸根离子质量浓度呈线性关系, $y = 0.0301x + 0.001$;相关系数大于0.99。标准曲线的加标回收率为98%~99%,相对标准偏差为1.4%。结论 改进后的硫酸钡吸光比浊法具有较高的重现性和准确性,方法简便快捷,可以满足用户对大蒜废水的快速检测需求。

关键词 大蒜废水;大蒜素;吸光比浊法;精密度;加标回收

中图分类号 TU992.0;X703.1

文献标志码 A

Analysis of Influencing Factors on Alicin Detection by Barium Sulfate Absorption Turbidimetry

YOU Kun, BI Dongfang, SHEN Dongyue, FU Jinxiang

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: Based on barium sulfate absorption turbidimetry, a method for the determination of garlicin in garlic wastewater was proposed. The primary and secondary relationships during the influencing factors and the optimal determination conditions of the method were determined by the single factor test and $L_9(3^4)$ orthogonal test. The reproducibility and accuracy of the method were verified by the precision test and spiked recovery test. The optimum experimental conditions are as follows: wavelength = 415 nm, pH = 1, polyvinyl alcohol = 1 mL, $BaCl_2$ = 5 mL, and stable time = 15 min. Under the optimum experimental conditions, the absorbance (y) of the system was linearly related to the mass concentration (x) of sulfate ion: $y = 0.0301x + 0.001$. The correlation coefficient is greater than 0.99. Recovery rate of spiking is controlled in 98% - 99%. The relative standard deviation (RSD) was 1.4%. The improved barium sulfate absorbance turbidimetry has high reproducibility and accuracy, and the method is simple and fast, which can meet the user's requirements for rapid detection of garlic wastewater.

Key words: garlic wastewater; garlicin; absorption turbidimetry; precision; spiked recovery

收稿日期:2021-02-20

基金项目:国家科技重大专项(2018YFC1801203-05)

作者简介:由昆(1978—),女,教授研究员级高级实验师,主要从事污水处理等方面研究。

大蒜素是大蒜废水中的主要活性物质,具有较高的抗菌功效,不在生物体内残留、不容易使生物体产生耐药性以及不会对环境造成污染,这些优点使其成为替代抗生素作为产品添加剂,被广泛应用到医药、食品以及饲料等多个领域中^[1-4]。然而,含硫基的酶又会被大蒜素中的硫醚氧化,进而会对细胞分裂产生抑制作用,影响微生物的正常代谢,对后续的生化处理造成严重影响^[5-6]。目前大蒜素的测定方法主要有色谱法、生物检测法及化学法。色谱法检测结果较准确,可信度高,但其测定成本高,操作步骤繁琐^[7-8]。生物检测法虽然方法简单,但操作复杂且测定的准确度较差。化学检测法是测定大蒜素的主要方法,具体包括了定硫法、硝酸汞沉淀法、硫酸钡吸光比浊法。定硫法操作步骤复杂且耗时长,检测结果误差较大;硝酸汞沉淀法因其滴定终点判断差异性较大从而导致检测结果误差较大^[9-13]。

针对大蒜素检测方法多以纯品大蒜素或者经过高度浓缩的大蒜油为检测对象,笔者以大蒜废水为研究对象,通过单因素和多因素试验优化硫酸钡吸光比浊法测定条件,提出了一种简单、快捷、高效的测定大蒜废水中大蒜素的方法。

1 实验

1.1 大蒜废水的制备

模拟大蒜加工废水,称取大蒜 25 g,去掉蒜皮后洗净晾干,用榨汁机榨出约 6 ~ 6.5 mL 大蒜汁,将大蒜汁用自来水稀释至 1 L 备用。废水各项水质指标与实际废水水质模拟基本一致^[14]。

1.2 主要仪器与试剂

仪器和药品试剂主要有:紫外可见分光光度仪,SP-752 型,上海光谱仪器有限公司生产;用 K_2SO_4 配制的 0.1 g/L SO_4^{2-} 标准溶液、质量浓度为 10% $BaCl_2$ 溶液、质量浓度为 2% 聚乙烯醇溶液、浓盐酸、浓硝酸等。

试剂均为分析纯,药品来自天津市瑞金特化学品有限公司。

1.3 测定原理和方法

新鲜的大蒜中并不含有大蒜素,它是大蒜辣素的降解产物,大蒜素的主要成分是二烯丙基三硫醚,带有强烈的刺激性气味,化学性质极不稳定,易挥发,在大蒜废水中以成分复杂的有机硫化物的混合物形式存在^[14-18]。

硫酸钡吸光比浊法主要是依据浓硝酸与大蒜废水中硫元素反应生成硫酸根;加入的氯化钡与硫酸根反应生成稳定的硫酸钡悬浊液;硫酸钡颗粒在一定 pH 条件下,均匀分散在聚乙烯醇介质中,通过分光光度法测定硫酸盐质量,溶液中大蒜素的质量浓度计算公式:

$$\rho_A = 2C \cdot m_A / Gm_{SO_4} \quad (1)$$

式中: C 为回归方程求得 SO_4^{2-} 质量,mg; G 为大蒜素取样量,3 mL; m_{SO_4} 为 SO_4^{2-} 分子量,96.06; m_A 为大蒜素分子量,162.26。

检测步骤:用移液管准确移取 3 mL 样品于 25 mL 比色管中,加入浓硝酸对样品进行氧化,依次加入 2% 聚乙烯醇、10% $BaCl_2$ 溶液,调节溶液 pH 值,加蒸馏水至 25 mL,盖上试管塞,摇晃试管使溶液均匀,稳定一段时间后,以空白试剂为参比,用 1 cm 比色皿于一定波长处测定吸光度值。依据反应换算得出溶液中大蒜素的质量浓度。

1.4 实验方法

测定条件的影响因素分析:选取波长(400 ~ 500 nm)、 $BaCl_2$ 用量(1 ~ 7 mL)、pH 值(1 ~ 7)、聚乙烯醇投加量(1 ~ 4 mL)和稳定时间(0 ~ 60 min)5 个影响因素,通过控制变量法,采用单因素和正交实验方法确定其对大蒜素测定的影响,确定最佳反应条件。每组同步进行 3 组平行试验。

样品氧化影响因素分析:选取浓硝酸投加量(0 ~ 4.5 mL)和氧化时间(0 ~ 60 min)2 个影响因素,采用单因素实验确定大蒜素中的硫元素反应生成硫酸根的条件。

方法验证:利用选取的最佳测定条件对硫酸根溶液和大蒜废水样品进行精密度及加标回收试验,以相对标准偏差和加标回收率为评价指标,验证测定方法的重现性和准确性。

2 结果与分析

2.1 大蒜素测定影响因素分析

2.1.1 波长对大蒜素测定的影响

取3 mL大蒜废水于25 mL比色管中,加入2.5 mL浓硝酸氧化15 min,依次加入2%聚乙烯醇1 mL,10% BaCl₂溶液5 mL,调节溶液pH=1,加蒸馏水定容至25 mL,稳定15 min后,分析波长对大蒜素测定的影响(见图1)。

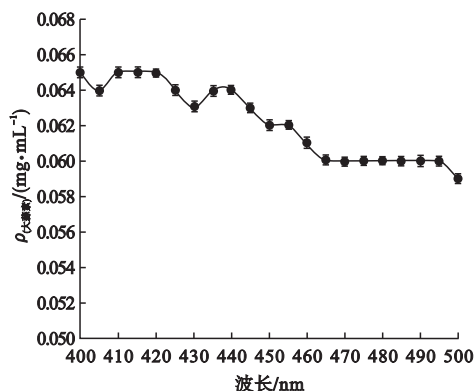


图1 波长对大蒜素测定的影响

Fig. 1 Effect of wavelength on determination of allicin

吸光比浊法以丁达尔效应为基础,在400~750 nm波长内均可测定。在保证线性关系的前提下,选择无任何吸收干扰的短波长为测定范围,以400 nm作为试验起点,依次逐步提高波长。

从图1可知,随着波长的增大,大蒜素测定值总体呈现下降趋势。当波长处于400~420 nm区间内时,大蒜素质量浓度保持相对稳定;在410~420 nm区间时,大蒜素质量浓度稳定不变。当波长大于420 nm时,随着波长不断增大,大蒜素质量浓度逐渐下降,由最初的0.065 mg/mL下降到0.059 mg/mL。因此,选择410~420 nm中点415 nm作为测定参数。

2.1.2 BaCl₂用量对大蒜素测定的影响

在415 nm波长条件下,控制BaCl₂投加量分别为1~7 mL,分析BaCl₂用量对测定结果的影响(见图2)。

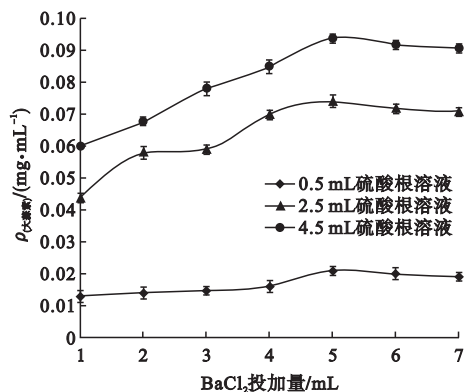


图2 BaCl₂投加量对测定的影响

Fig. 2 Effect of BaCl₂ dosage on determination

从图2可知,大蒜素含量均呈现在先上升后下降的趋势,当BaCl₂投加量为5 mL时,SO₄²⁻取样体积为4.5 mL时,大蒜素质量浓度最大,为0.095 mg/mL。随着BaCl₂投加量的增加,溶液中BaSO₄晶体数量也在逐步增长,当投加量增加到5 mL时,BaSO₄晶体的结晶速度和溶解速度处于动态平衡,此时溶液的吸光度达到最大,悬浮液处于最大饱和状态。投加量继续增加,溶液中Ba²⁺质量浓度继续增大,超过沉淀反应所需浓度,过多的电解质使得溶液中离子浓度增大,导致反应生成的部分沉淀,产生聚沉现象。在确保悬浮液物质形态不变的前提下,确定BaCl₂最佳投加量为5 mL。

2.1.3 pH值对大蒜素测定的影响

在SO₄²⁻投加量分别为0.5 mL、2.5 mL和4.5 mL条件下,在波长为415 nm, BaCl₂投加量为5 mL,测定pH值对大蒜素测定的影响(见图3),大蒜素质量浓度随着pH值的升高整体呈下降趋势。当pH=1时,大蒜素质量浓度最大,质量浓度分别达到0.112 mg/mL, 0.073 mg/mL和0.025 mg/mL。

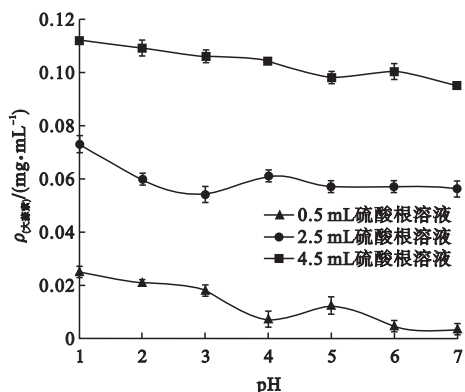


图3 pH值对测定的影响

Fig. 3 Effect of pH value on determination

反应体系中作为胶体内核的硫酸钡,吸附溶液中的 SO_4^{2-} 使胶核表面带有负电,在电场的作用下,会继续吸引溶液中带正价的钡离子,形成第一吸附层(紧密层);这时晶体表面带有正电荷,会继续吸引溶液中带负电荷的离子,构成电中性的双电子层结构。反应体系中氢离子质量浓度偏低或偏高都会对晶体双电子层结构的形成产生影响,导致吸光度稳定性发生变化。pH=1时,反应生成的硫酸钡颗粒之间因斥力存在而不会相互聚集,在聚乙烯醇水溶液中均匀分布,稳定性相对较好。随pH值的逐步增大,大蒜素测定值逐渐下降。故确定测定方法中pH值为1。

2.1.4 聚乙烯醇用量及稳定时间对大蒜素测定的影响

聚乙烯醇上羟基为极性分子,可与水分子结合,加入 BaCl_2 悬浊液后,部分羟基能够主动与亲水的固体颗粒相吸附,剩余羟基便分散在溶液中,形成稳定的悬浊液。固体颗粒均匀分散在体系中,在一定时间内能够维持单位体积中粒子数量基本不变,使测得的吸光度稳定可靠。

在 SO_4^{2-} 投加量为 0.5 mL, 2.5 mL 和 4.5 mL 时,波长为 415 nm, pH=1 及 BaCl_2 投加量为 5 mL,分析聚乙烯醇投加量对大蒜素测定结果的影响(见图4)。

由图4可知,随着聚乙烯醇投加量的增加,大蒜素质量浓度逐渐下降。当聚乙烯醇投

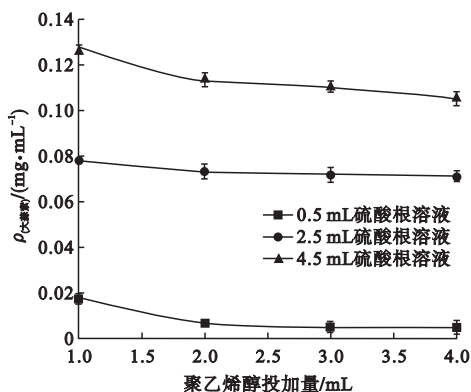


图4 聚乙烯醇投加量对测定的影响

Fig. 4 Effect of polyvinyl alcohol dosage on determination

加量为 1 mL 时,大蒜素质量浓度最大分别为 0.019 mg/mL, 0.078 mg/mL 和 0.126 mg/mL。此时聚乙烯醇对生成的硫酸钡沉淀具有很好的分散作用,悬浊液具有最佳稳定性和最高灵敏度。随着聚乙烯醇投加量进一步增大,体系中大蒜素含量逐渐减少并趋于稳定。故测定方法中聚乙烯醇投加量为 1 mL。

在上述试验的基础上,将溶液分别稳定放置 10~60 min(见图5)。从图5可知,随着稳定时间的延长,大蒜素质量浓度呈现缓慢下降的趋势。在时间为 10~20 min 内时,体系的大蒜素质量浓度最大且保持稳定,质量浓度分别为 0.021 mg/mL, 0.078 mg/mL 和 0.136 mg/mL。故确定反应的稳定时间为 15 min。

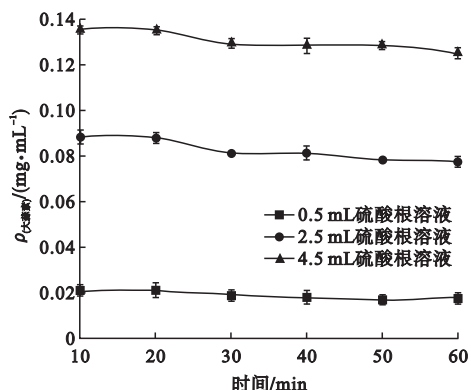


图5 聚乙烯醇稳定时间对测定的影响

Fig. 5 Effect of stability time of polyvinyl alcohol on determination

2.2 正交法优化测定条件

在稳定时间为 15min 的条件下,选择聚乙烯醇投加量、pH 值、波长、BaCl₂ 投加量 4 个影响因素,以大蒜素质量浓度作为评价指标进行 L₉(3⁴) 的正交试验,方案设计及结果如表 1 和表 2 所示。由表 2 中 \bar{K}_{ij} 的大小可以看出,4 个因素的主次关系依次为:聚乙烯醇投加量、pH 值、BaCl₂ 投加量、波长。吸光比浊法测定大蒜废水中大蒜素的最佳试验条件为:聚乙烯醇投加量为 1 mL, pH = 1, BaCl₂ 投加量为 5 mL, 波长为 415 nm。

表 1 正交试验方案表

Table 1 The scheme table of orthogonal test

编号	V/ mL	pH	波长/ nm	BaCl ₂ / mL	质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)
1	1	1.03	410	4	0.088
2	1	5.01	415	5	0.083
3	1	7.04	420	6	0.081
4	2	1.03	415	6	0.082
5	2	5.01	420	4	0.080
6	2	7.04	410	5	0.082
7	3	1.03	420	5	0.081
8	3	5.01	410	6	0.067
9	3	7.04	415	4	0.079

注:V 为聚乙烯醇的投加量。

表 2 正交试验直观分析

Table 2 Visual analysis of orthogonal test

结果	V	pH	波长	BaCl ₂ 投加量
K_{1j}	0.252	0.251	0.237	0.247
K_{2j}	0.244	0.230	0.244	0.246
K_{3j}	0.227	0.242	0.242	0.23
\bar{K}_{1j}	0.084	0.084	0.079	0.082
\bar{K}_{2j}	0.081	0.077	0.081	0.082
\bar{K}_{3j}	0.076	0.081	0.081	0.077

注: K_{ij} 和 \bar{K}_{ij} 表示在第 j 个因素和第 i 个水平条件下的试验数据相加的总和及总和的平均值。

2.3 标准曲线的建立和分析

用移液管分别移取 0 mL, 0.5 mL, 1.0 mL, 1.5 mL, 2 mL, 2.5 mL, 3 mL, 3.5 mL, 4 mL, 4.5 mL 质量浓度为 0.1g/L

的 SO₄²⁻ 标准溶液于 25 mL 比色管中,依次加入 2% 聚乙烯醇 1 mL, 质量浓度 10% 的 BaCl₂ 溶液 5 mL, 调节溶液 pH = 1 后,加蒸馏水至 25 mL, 摇晃均匀后稳定 15 min, 以空白试剂作为参比,用 1 cm 比色皿于 415 nm 波长处测定吸光度值,绘制工作曲线。

用该方法得出的回归方程为 $y = 0.301x + 0.001$, 相关系数 $r^2 = 0.9991 > 0.99$ 。标准曲线平均加标回收率为 98% ~ 99%, 相对标准偏差为 1.4%。

2.4 大蒜废水中大蒜素氧化条件分析

2.4.1 浓硝酸投加量对大蒜素氧化的影响

移取 3 mL 同批次大蒜废水样品,分别加入 0 ~ 4.5 mL 的浓硝酸并氧化 15 min, 结果如图 6 所示。

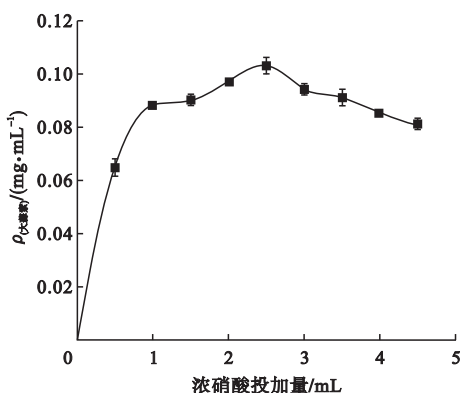


图 6 浓硝酸投加量对测定的影响

Fig. 6 Effect of concentrated nitric acid dosage on determination

随着浓硝酸投加量的增加,大蒜素含量呈现先增大后减小的趋势。当浓硝酸投加量为 0 ~ 2.5 mL 时,随着浓硝酸投加量的增大,大蒜素含量从 0 增大到 0.103 mg/mL。当浓硝酸投加量为 2.5 mL 时,大蒜素质量浓度达到最大,此时大蒜素中的硫元素被彻底氧化。随着浓硝酸投加量的进一步增加,大蒜素质量浓度开始逐渐下降,从 0.103 mg/mL 下降至 0.081 mg/mL,这是由于浓硝酸投加量过少时,有机硫化物氧化不彻底,仅生成少量的 BaSO₄ 沉淀,导致测定结果偏低;当浓硝酸投加量过多时,溶液酸度较大,酸效应会影响沉

淀双电层的构成,生成的 BaSO_4 沉淀溶解度增大,影响吸光度的稳定性,导致数值下降。因此,确定浓硝酸投加量为 2.5 mL。

2.4.2 氧化时间对测定结果的影响

图 7 为氧化时间对测定结果的影响。从图 7 可知,随着氧化时间的延长,溶液稳定性呈现缓慢下降的趋势。当氧化时间在 10 ~ 20 min 时,样品中大蒜素含量较高,此时大蒜素质量浓度为 0.067 mg/mL。随着氧化时间的进一步增长,大蒜素质量浓度下降到 0.053 ~ 0.06 mg/mL。故确定大蒜废水氧化时间为 15 min。

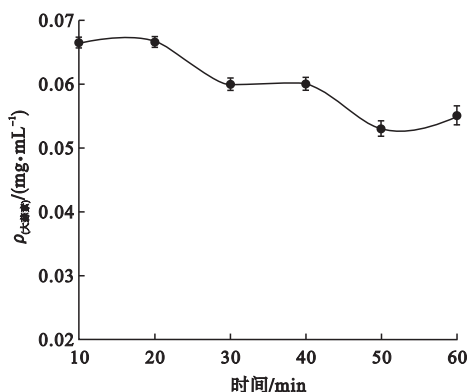


图 7 氧化时间对测定的影响

Fig. 7 Effect of oxidation time on determination

2.5 精密度和加标回收试验分析

分别选取两种不同大蒜素质量浓度的大蒜废水样品进行测定,对每种样品进行 10 次平行试验,取 10 次试验的平均值进行精密度试验结果分析,结果如表 3 所示。

表 3 大蒜废水中大蒜素测定精密度试验

Table 3 The precision test of garlicin determination in garlic wastewater

样品	大蒜素平均质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	相对标准偏差/%
A	0.071 27	0.829
B	0.095 21	0.892

同时,利用两种不同大蒜素质量浓度的大蒜废水样品作为待测样品进行加标回收试验。确定两种加标量中的 SO_4^{2-} 添加量分别为 0.03 mg 和 0.06 mg,对加标后的试样进

行 3 次平行测定,取 3 次测定的平均值进行准确度试验,结果如表 4 所示。

表 4 大蒜废水中大蒜素测定加标回收试验

Table 4 The garlicin spiked recovery test in garlic wastewater

样品 SO_4^{2-} 质量/mg	SO_4^{2-} 添加量/mg	测定 SO_4^{2-} 总量/mg	加标回收率/%
0.071 1	0.03	0.100 6	98.22
0.071 1	0.06	0.130 8	99.56
0.096 3	0.03	0.126 1	99.33
0.096 3	0.06	0.156 7	100.61

从表 3 和表 4 可知,使用硫酸钡吸光比浊法对大蒜废水中的大蒜素质量浓度进行测定,样品的相对标准偏差稳定在 0.8% ~ 0.9%,样品回收率在 98% ~ 101%,说明该方法具有良好的准确度和精密度。

3 结论

(1)通过正交试验得出影响测定大蒜素质量浓度的 4 个主要因素的从大到小依次为:聚乙烯醇投加量、pH 值、 BaCl_2 投加量、波长,以硫酸盐溶液为对象时,硫酸钡吸光比浊法测定大蒜素质量浓度的最佳测定条件为:聚乙烯醇投加量为 1 mL, $\text{pH} = 1$, BaCl_2 投加量为 5 mL,测定波长为 415 nm。

(2)曲线回归方程为 $y = 0.301x + 0.001$,相关系数 $0.999\ 1 > 0.99$ 。标准曲线平均加标回收率达到 98% ~ 99%,相对标准偏差为 1.4%。样品的相对标准偏差稳定在 0.8% ~ 0.9%,样品回收率在 98% ~ 101%。

参考文献

- [1] BRADLEY J M, ORGAN C L, LEFER D J. Garlic-derived organic polysulfides and myocardial protection [J]. Journal of nutrition, 2016, 146: 403 - 409.
- [2] RAMIREZ D A, LOCATELLI D A, GONZALEZ R E, et al. Analytical methods for bioactive sulfur compounds in allium: an integrated review and future directions [J]. Journal of food composition and analysis, 2016, S0889: 162 - 164.
- [3] BAHARE S, PAOLO Z, ILKAY E O, et al. Allicin and health: a comprehensive review [J].

- Trends in food science & technology, 2019, 86: 502 - 516.
- [4] 王加祥. 大蒜加工废水中大蒜素的回收利用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
(WANG Jiexiang. Research on the extract of alliin in the garlic waste water [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016.)
- [5] 傅源. 大蒜加工废水的 SBR 工艺研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
(FU Yuan. Study on SBR process of garlic processing wastewater [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2009.)
- [6] POLYMER R. Studies from Minjiang university have provided new information about polymer research [J]. Degradation urushiol coating composition crosslinked by diallyl trisulfide. 2020, 125: 2449 - 2451.
- [7] 陈敏, 杨晓凤, 宋君. 大蒜素的高效提取工艺研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(8): 53 - 56.
(CHEN Min, YANG Xiaofeng, SONG Jun. Study on efficient extraction process of alliin [J]. Chinese condiment, 2018, 43(8): 53 - 56.)
- [8] 黄晴, 吴忠坤, 吴中琴, 等. 葱属类植物中有机硫化物的抗氧化性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(1): 214 - 220.
(HUANG Qing, WU Zhongkun, WU Zhongqin, et al. The research progress of antioxidant activity of organic sulfides in allium plants [J]. Food research and development, 2018, 39(1): 214 - 220.)
- [9] 韩明亮, 毛利军, 全均, 等. 大蒜素提取与合成研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(11): 19 - 22.
(HAN Mingliang, MAO Lijun, TONG Jun, et al. Research advances of the extraction and synthesis of alliin [J]. Chinese condiment, 2012, 37(11): 19 - 22.)
- [10] 刘兰, 陈雅楠, 尚云涛, 等. 高效液相色谱法测定大蒜愈伤组织中大蒜素的含量[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 1 - 4.
(LIU Lan, CHEN Yanan, SHANG Yuntao, et al. Determination of alliin content in garlic callus by high performance liquid chromatography [J]. Chinese condiment, 2019, 44(2): 1 - 4.)
- [11] 韩贵芝, 王文军, 王芳. 高效液相色谱法测定大蒜中大蒜素的含量[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(7): 57 - 58.
(HAN Guizhi, WANG Wenjun, WANG Fang. Determination of alliin content in garlics by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2016, 44(7): 57 - 58.)
- [12] 张小希, 赵岩, 李根, 等. 大蒜加工废水综合利用研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(5): 71 - 74.
(ZHANG Xiaoxi, ZHAO Yan, LI Gen, et al. Research on comprehensive utilization of garlic processing wastewater [J]. Chinese fruit & vegetable, 2020, 40(5): 71 - 74.)
- [13] 刘莹. 大蒜素测定方法研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
(LIU Ying. Research on the determination of alliin [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014.)
- [14] 李微, 曾飞, 由昆, 等. SBR 工艺处理大蒜废水及污泥菌群结构研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(2): 370 - 377.
(LI Wei, ZENG Fei, YOU Kun, et al. The treatment of garlic wastewater and sludge microbial structure in SBR process [J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2021, 37(2): 370 - 377.)
- [15] 刘素君, 陈小凤, 成英, 等. 大蒜中大蒜素提取工艺及含量测定研究[J]. 广东化工, 2020, 47(17): 182 - 183.
(LIU Sujun, CHEN Xiaofeng, CHENG Ying, et al. Study on extraction and determination of alliin in garlic [J]. Guangdong chemical industry, 2020, 47(17): 182 - 183.)
- [16] GUO Lu, XU Guangqing, YAN Hubin, et al. Studies on purification of alliin by molecular distillation [J]. Guangdong chemical industry, 2012, 92: 1475 - 1478.
- [17] 马晓年, 邹艳丽, 周新风, 等. 白皮大蒜中大蒜素的提取[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(16): 3130 - 3132.
(MA Xiaonian, ZOU Yanli, ZHOU Xinfeng, et al. The extraction of alliin in garlic [J]. Hubei agricultural sciences, 2017, 56(16): 3130 - 3132.)
- [18] 马茜. 硫酸钡吸光比浊法测定大蒜中大蒜素含量[J]. 光谱试验室, 2007, 24(3): 345 - 347.
(MA Qian. Determination of the garlicin content in garlics by barium sulfate turbidimetry [J]. Chinese journal of spectroscopy laboratory, 2007, 24(3): 345 - 347.)
- [19] 陈彬, 王艳辉, 马润宇. 提取大蒜有效成分: 有机硫化物[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2004, 31(2): 24 - 27.
(CHEN Bin, WANG Yanhui, MA Runyu. Extraction of effective component of organic sulfide from garlic [J]. Journal of Beijing university of chemical technology (natural science edition), 2004, 31(2): 24 - 27.)
- [20] 丁根娣, 吴杰, 许志遂. 硫酸钡吸光比浊法测定机理的探讨[J]. 理化检验(化学分册), 2001, 37(3): 111 - 112.
(DING Gendi, WU Jie, XU Zhisui. On the mechanism of the turbidimetric determination of SO_4^{2-} by the BaSO_4 method [J]. Physical testing and chemical analysis (part B: chemical analysis), 2001, 37(3): 111 - 112.)
(责任编辑: 王国业 英文审校: 唐玉兰)