

## 再造烟叶原料提取液 Brix 值与固含量和提取率的相关分析

朱红琴, 曹环, 余磊, 吴平艳, 刘维涓\* (云南瑞升烟草技术集团有限公司, 云南昆明 650106)

**摘要** 为了能快速判断出再造烟叶在线生产中原料的提取情况, 采用实验室模拟生产的方法对再造烟叶原料进行提取后用手持折光仪测定提取过程中提取液的 Brix 值(可溶性固含量), 并利用经典方法计算出原料提取率和提取液固含量, 分析了提取液 Brix 值与固含量、提取率的相关性。结果表明, 梗组原料提取液固含量为 3.81%~7.21% 时, Brix 值与固含量有良好的线性关系 ( $R^2=0.9104$ ); 梗组原料提取率为 24.10%~39.25% 时, Brix 值与提取率的线性回归方程  $R^2$  为 0.8196。当叶组原料提取液固含量为 3.02%~6.55% 时, 提取液 Brix 值与固含量的线性回归方程  $R^2$  为 0.9569; 当叶组原料提取率为 20.14%~49.21% 时, 提取液 Brix 值与提取率的回归方程  $R^2$  为 0.8958。这说明在一定的提取范围内提取液 Brix 值与固含量和提取率有显著的正相关关系, 在生产上可以通过快速测定提取液的 Brix 值来判定提取程度, 并进行实时调控。

**关键词** 再造烟叶; 提取液; Brix 值; 固含量; 提取率; 相关分析

中图分类号 TS452.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)07-0207-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.07.059



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Correlation Analysis of Brix Value and Solid Content, Extraction Rate of Reconstituted Tobacco Material Extract

ZHU Hong-qin, CAO Huan, YU Lei et al (Yunnan Reascend Tobacco Technology (Group) Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650106)

**Abstract** In order to judge the extraction of materials in the online production of reconstituted tobacco quickly, the raw materials of reconstituted tobacco leaves were extracted by the method of laboratory simulation production. Brix value (soluble solid content) of the extract of paper-making reconstituted tobacco was measured by hand-held refractometer, and the extraction rate and solid content of the extract were calculated by classical method, and then the correlation between Brix value, solid content and extraction rate was analyzed. The results showed that there was a good linear relationship between Brix value and solid content in the range of 3.81%~7.21% in the stem group ( $R^2=0.9104$ );  $R$  square of linear regression equation between Brix value and extraction rate was 0.8196 in the extraction rate of the stem group was 24.10%~39.25%.  $R$  square of linear regression equation between Brix value and extraction rate was 0.9569 in the range of 3.02%~6.55% in the leaf group; when the extraction rate of leaf group was between 20.14% and 49.21%,  $R$  square of linear regression equation between Brix value and extraction rate was 0.8958. The results showed that there was a significant positive correlation between Brix value and solid content and extraction rate within a certain extraction range. In production, the extraction degree can be determined by rapid determination of Brix value of extraction solution, and real-time regulation can be carried out.

**Key words** Reconstituted tobacco; Extract; Brix value; Solid content; Extraction rate; Correlation analysis

造纸法再造烟叶是利用废弃的烟梗、烟末和烟碎片等烟草物质通过一定的加工工艺生产的烟叶<sup>[1-5]</sup>, 其生产经过提取<sup>[6-8]</sup>、打浆<sup>[9-10]</sup>、抄造<sup>[11]</sup>、涂布和烘干 5 个主要工序, 其中提取工艺段是造纸法再造烟叶生产的起始工艺段, 其主要目的是将烟草原料中的糖、氨基酸、有机酸盐等可溶性物质和不溶性的纤维素、半纤维素和木质素等高分子物质分开, 分别用于生产涂布液和片基。提取工艺是造纸法再造烟叶生产中的重要环节之一, 造纸法再造烟叶提取主要是将废弃的烟草原料中需要转移到最终产品的有效成分充分提取出来。提取液固含量和提取率是反映再造烟叶原料提取程度的重要指标。目前再造烟叶提取液固含量检测方法为烘箱法, 试验耗时较长, 无法及时获得结果, 因而无法对提取程度进行准确评价和判断。为弥补当前检测方法的不足, 研究快速测定提取液固含量的方法尤为重要。再造烟叶提取率计算方法为经典法烘箱法, 即将提取前后的物料烘至绝干, 计算干物质差。这种计算方法是在提取前后物料一一对应的情况下进行的, 但由于生产线为连续投料、连续提取, 无法确定取样检测的提取后物料对应的提取前状态, 也无法将整批物料

进行烘干<sup>[12]</sup>, 因此生产线提取率的检测是目前亟需解决的一个难题。

折光法是通过测量物质的折光率来确定物质的纯度、浓度及判断物质的品质的分析方法。可溶性固形物的含量与溶液的折光率有关, 在食品行业中<sup>[13-20]</sup>, 用折光计法来测定饮料中可溶性固形物含量的应用较多。在再造烟叶行业中, 李婧珩等<sup>[21]</sup>用折光法测定造纸法再造烟叶涂布液中可溶性固形物含量, 结果表明折光法检测涂布液固含量质量浓度在 14.75%~59.04% 区间有较好的线性关系。周国福等<sup>[22]</sup>通过与经典方法(以挥发份表征固含量)的比对分析, 建立了快速测定造纸法再造烟叶梗膏、叶膏可溶性固形物含量的折光法。Brix 值, 又称白利糖度 (Degrees Brix), 实际上是表示是蔗糖水溶液的浓度, 而在大多数溶液中除蔗糖外, 可能还包括盐、矿物质和蛋白质等, 所以 Brix 值常用来表示溶液中总的可溶性固形物的含量。对于特定的样品, 可通过建立 Brix 值与样品实际浓度的转换关系进行测量。笔者利用手持折光仪(糖度仪)快速测定造纸法再造烟叶提取过程中提取液的 Brix 值(可溶性固含量), 利用经典方法(烘箱法)计算出提取率和固含量, 并对提取液 Brix 值和固含量、提取率之间进行相关性分析, 旨在通过对比分析找出 Brix 值与再造烟叶提取液固含量和提取率之间的关系, 通过用手持糖度仪快速测定 Brix 值来反映再造烟叶原料的提取情况, 进而对生产指导提供一定的帮助。

**基金项目** 中国烟草总公司科技重大专项项目[110201201035(ZZ-16)]。

**作者简介** 朱红琴(1988—), 女, 云南昆明人, 工程师, 硕士, 从事再造烟叶工艺方面的研究。\* 通信作者, 正高级工程师, 博士, 从事烟用香精香料、再造烟叶工艺技术和新型烟草技术等方面的研究。

**收稿日期** 2019-08-09

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料和仪器

**1.1.1 材料。**KM-13、YX-6、RSHN-113 共 3 个产品的梗、叶组原料(云南中烟再造烟叶有限公司提供)。

**1.1.2 仪器。**MS204S 型电子天平(感量 0.001 g, 瑞典 Switzerland 公司); 9010-0263 型精密烘箱(德国 binder 公司); 101A-2 型电热恒温干燥箱(上海崇明实验仪器厂); WYT 型手持折光仪(糖度仪)(上海仪电物光光学仪器有限公司); DZKW-S-6 电热恒温水浴锅(北京市永光明医疗仪器厂)。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 固含量测定。**将提取液充分摇匀, 用已知质量的铝盒称取样品 6.000 g(准确至 0.001 g), 置于 105 °C 烘箱中干燥 2 h, 放入干燥器中冷却 30 min, 称重, 按照公式(1)计算提取液固含量。

$$\text{固含量} = \frac{M_1 - n}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $M_0$  为提取液的质量(g);  $M_1$  为干燥后铝盒和干物质的质量(g);  $n$  为铝盒的质量(g)。

**1.2.2 提取率测定。**每次提取后原料挤干, 提取结束后不溶残渣(固形物)在 105 °C 烘箱烘至衡重, 称重, 按照以下公式计算原料提取率。

$$\text{提取率} = \frac{m \times (1 - b)}{M \times (1 - a)} \times 100\% \quad (2)$$

式中,  $M$  为提取前烟梗、烟碎片原料的质量(g);  $a$  为提取前烟梗、烟碎片原料的含水率(%);  $m$  为提取后不溶残渣的质量(g);  $b$  为提取后不溶残渣的含水率(%)。

**1.2.3 Brix 值测定。**打开手持糖度仪盖板, 滴 2~3 滴蒸馏水在棱镜上, 合上盖板, 确保液体布满整个表面, 不要有气泡。将棱镜放在光源下, 旋转校准螺栓, 使明暗分界线和零刻度线重合, 完成校准。然后用擦镜纸棱镜上将液体擦干, 滴入混匀的提取液, 合上盖板于光源下, 直接读出提取液的 Brix 值。

### 1.3 原料提取液 Brix 值、固含量和提取率间的相关性分析

实验室对再造烟叶梗、叶组原料进行提取, 得到不同固含量的提取液, 检测其固含量和 Brix 值, 并计算提取率, 记录数据, 绘制图表, 研究其相关性。

**1.4 数据处理** 采用 SPSS 软件进行数据统计与分析。

## 2 结果与分析

实际生产中, 再造烟叶梗组原料和叶组原料是分开提取的, 在实验室模拟再造烟叶原料提取, 分别收集梗组和叶组提取液, 计算原料提取率和提取液固含量、Brix 值, 分析原料提取液 Brix 值与提取率、固含量的关系。

**2.1 梗组原料提取液 Brix 值与固含量和提取率间的相关分析** 随机选取 3 组再造烟叶梗组原料, 在实验室模拟生产上的二级逆流提取, 收集提取液测定 Brix 值和固含量, 并根据提取前后固形物变化计算出提取率, 试验结果见表 1。

将表 1 数据进行相关性分析, 分析结果见表 2。从表 1、2

可以看出, 当梗组原料提取液固含量为 3.81%~7.21%时, 提取液的 Brix 值与固含量呈正相关, 相关系数为 0.954。当提取率为 24.10%~39.25%时, 提取液 Brix 值与提取率间相关性较强, 相关系数为 0.905。这说明用提取液的 Brix 值可以反映再造烟叶烟梗原料提取时的程度。

根据表 1 的检测结果和表 2 的相关分析结果, 对 Brix 值与固含量和提取液进行回归分析可知, 梗组原料提取液的 Brix 值与固含量有良好的线性关系, 线性回归方程为  $y = 0.9354x + 0.2878$  ( $R^2 = 0.9104$ ); 梗组原料提取液 Brix 值与提取率有良好的线性关系, 线性回归方程为  $y = 3.7746x + 10.73$  ( $R^2 = 0.8196$ )。

表 1 梗组原料提取液 Brix 值与固含量和提取率测定结果

Table 1 The determination results of Brix value, solid content and extraction rate of material extract in stem group %

样品 Sample	Brix 值 Brix value	固含量 Solid content	提取率 Extraction rate
GZ-1	4.5	4.34	25.11
	5.0	5.25	31.34
	5.3	5.75	32.12
	6.0	5.45	31.34
	6.3	6.11	34.37
	6.5	6.35	34.87
	6.8	6.61	35.21
	6.9	6.74	36.35
	7.0	6.06	33.62
	7.3	7.15	39.25
GZ-2	4.3	4.21	25.05
	4.7	4.57	30.10
	5.8	5.67	32.65
	5.7	5.97	34.31
	5.4	5.94	35.78
	6.0	5.45	32.12
	6.5	6.52	38.85
	7.0	7.21	37.12
	7.2	7.11	39.11
	7.2	7.11	39.11
GZ-3	4.0	3.88	24.10
	4.0	3.81	24.32
	4.6	4.49	29.57
	5.4	5.32	31.24
	5.8	6.10	33.85
	6.3	6.19	33.97
	6.5	6.31	35.01
	6.8	6.57	35.24
6.9	7.11	36.47	
7.0	6.41	35.02	
7.2	7.15	38.97	

表 2 梗组原料提取液 Brix 值、固含量和提取率间的相关分析

Table 2 The correlation analysis between Brix value and solid content and extraction rate of material extract in stem group

统计量 Statistics	Brix 值 VS 固含量 Brix value and solid content	Brix 值 VS 提取率 Brix value and extraction rate	固含量 VS 提取率 Solid content and extraction rate
Pearson 相关性 Pearson correlation	0.954**	0.905**	0.960**
显著性(双侧) Significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000
N	30	30	30

**2.2 叶组原料提取液 Brix 值与固含量和提取率间的相关分析** 随机选取 3 种再造烟叶叶组原料,在实验室模拟生产上的二级逆流提取,收集提取液测定 Brix 值和固含量,并根据提取前后固形物变化计算出提取率,结果见表 3。

表 3 叶组原料提取液 Brix 值与固含量和提取率测定结果

Table 3 The determination results of Brix value, solid content and extraction rate of material extract in leaf group %

样品 Sample	Brix 值 Brix value	固含量 Solid content	提取率 Extraction rate
YZ-1	3.6	3.02	26.88
	3.8	3.21	28.45
	4.0	3.12	30.43
	4.0	3.36	31.97
	4.6	3.87	34.26
	4.9	4.28	36.41
	5.3	5.10	41.28
	5.8	5.54	43.24
	6.2	5.86	45.69
	6.5	6.15	49.21
YZ-2	3.5	3.14	20.14
	3.7	3.15	28.25
	4.0	3.12	30.43
	4.1	3.87	31.02
	4.3	3.98	30.27
	4.8	4.61	36.41
	5.1	4.75	35.55
	5.6	5.92	41.21
	6.1	5.67	42.84
	6.4	6.55	43.98
YZ-3	3.6	3.15	22.85
	3.7	3.42	25.64
	3.9	3.39	30.21
	4.0	3.33	30.34
	4.0	3.21	24.90
	4.5	4.02	33.58
	5.2	4.81	38.54
	5.6	5.82	39.35
	6.4	6.05	40.58
	6.6	6.15	42.84

将表 3 数据进行相关性分析,分析结果见表 4。从表 3、4 可以看出,当叶组原料提取液固含量为 3.02%~6.55%时,提取液的 Brix 值与固含量呈正相关,相关系数为 0.978。当叶组原料提取率为 20.14%~49.21%时,提取液 Brix 值与提取率间相关性较强,相关系数为 0.946。这说明用提取液的 Brix 值可以反映再造烟叶叶组原料提取时的程度。

根据表 3 的检测结果和表 4 的相关分析结果,对叶组原料提取液 Brix 值与固含量和提取液进行回归分析可知,叶组原料提取液 Brix 值与固含量有良好的线性关系,线性回归方程为  $y=1.1398x-1.0762$  ( $R^2=0.9569$ ); Brix 值与叶末提取率具有良好的线性关系,线性回归方程为  $y=6.796x+1.9827$  ( $R^2=0.8958$ )。

表 4 叶组原料提取液 Brix 值、固含量和提取率间的相关分析

Table 4 The correlation analysis of Brix value, solid content and extraction rate of material extract in leaf group

统计量 Statistics	统计值 Statistical value	Brix 值 Brix value	固含量 Solid content	提取率 Extraction rate
Brix 值 Brix value	Pearson 相关性 显著性(双侧) N	1.000	0.978** 0.000	0.946** 0.000
固含量 Solid content	Pearson 相关性 显著性(双侧) N	0.978** 0.000	1.000	0.923** 0.000
提取率 Extraction rate	Pearson 相关性 显著性(双侧) N	0.946** 0.000	0.923** 0.000	1.000

### 3 结论

再造烟叶在生产过程中,梗组原料和叶组原料首先分开进行提取,提取液固含量和提取率是反应再造烟叶原料提取程度的重要指标,但在生产过程中,由于生产的连续性和检测时间较长,没法快速断定提取程度。提取液 Brix 值与提取率和固含量的相关分析表明,当梗组原料提取液固含量为 3.81%~7.21%时, Brix 值与固含量有良好的线性关系,回归方程为  $y=0.9354x+0.2878$  ( $R^2=0.9104$ ); 当梗组原料提取率为 24.10%~39.25%时, Brix 值与提取率有良好的线性关系,线性回归方程为  $y=3.7746x+10.73$  ( $R^2=0.8196$ )。对叶组原料提取而言,当提取液固含量为 3.02%~6.55%时,提取液 Brix 值与固含量具有良好的线性关系,线性回归方程为  $y=1.1398x-1.0762$  ( $R^2=0.9569$ ); 当叶组原料提取率为 20.14%~49.21%时, Brix 值与提取率间线性回归方程为  $y=6.796x+1.9827$  ( $R^2=0.8958$ )。这说明在一定的提取范围内,提取液 Brix 值与固含量和提取率呈显著正相关,在生产上可以通过快速测定提取液的 Brix 值来判定提取程度,以便对再造烟叶生产进行实时调控。

### 参考文献

- [1] 陈志鸿,林云. 浅析再造烟叶的工艺、特性及作用[J]. 广东化工,2015,42(16):139.
- [2] 孙先玉,孙博,李冬玲,等. 造纸法再造烟叶加工技术研究进展[J]. 生物质化学工程,2011,45(6):49-56.
- [3] 戴路,陶丰,袁凯龙,等. 造纸法再造烟叶的研究进展[J]. 中国造纸学报,2013,28(1):65-69.
- [4] 尚善斋,雷萍,吴恒,等. 造纸法烟草薄片的研究进展[J]. 纸和造纸,2015,34(4):45-49.
- [5] 葛少林,徐迎波,王程辉,等. 造纸法烟草薄片的制造方法:CN200910184913.2[P]. 2010-04-21.
- [6] 黄思敏,马林. 造纸法再造烟叶提取新工艺的研究应用[J]. 黑龙江造纸,2015(1):1-3.
- [7] 孙霞,苏文强. Twin-80 在造纸法烟草薄片萃取工艺中的应用[J]. 造纸化学品,2010,22(6):25-29.
- [8] 张玉娟,王栋,蒋宇凡,等. 造纸法再造烟叶原料吸水润胀特性及其对提取效果的影响[J]. 中华纸业,2016,37(18):59-62.
- [9] 罗冲,温洋兵,胡惠仁,等. 制浆工艺对造纸法烟草薄片性质的影响[J]. 纸和造纸,2012,31(7):37-40.
- [10] 宋成剑,孙霞,李新生,等. 烟草浆高浓与低浓打浆效果的比较[J]. 中国造纸,2013,32(7):42-45.
- [11] 卓治非,高忠渊,林大燕,等. 提高再造烟叶网部留着率的研究[J]. 中华纸业,2017,38(6):25-28.

- [8] XIE Y F, ZHAO M Y, HU Q, et al. Selective detection of chloramphenicol in milk based on a molecularly imprinted polymer-surface-enhanced Raman spectroscopic nanosensor[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2017, 48(2): 204-210.
- [9] JACOBSON W C, ALLEN E H, WISEMAN H G. Determination of chloramphenicol in liver, kidney, muscle, and whole blood[C]//Preprint at 88th Annual Meeting of AOAC. [s.l.]: AOAC, 1974: 14-17.
- [10] LI P, QIU Y M, CAI H X, et al. Simultaneous determination of chloramphenicol, thiampenicol, and florfenicol residues in animal tissues by gas chromatography/mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2006, 24(1): 14-18.
- [11] HAMMACK W, CARSON M C, NEUHAUS B K, et al. Multilaboratory validation of a method to confirm chloramphenicol in shrimp and crabmeat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *J AOAC Int*, 2003, 86(6): 1135-1143.
- [12] VESNA C F. Performance characteristics of an analytical procedure for determining chloramphenicol residues in muscle tissue by gas chromatography-electron capture detection[J]. *Biomedical Chromatography*, 2006, 20(10): 985-992.
- [13] 邱月明, 林黎明, 李鹏, 等. 动物源性食品中氯霉素类药物残留量测定: GB/T 22338—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] BONONI M, TATEO F. Liquid chromatography/tandem mass spectrometry analysis of chloramphenicol in propolis extracts available on the Italian market[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2008, 21(1): 84-89.
- [15] 尹明珠, 张学忠, 冯雷, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测禽畜肉中的氯霉素残留[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(3): 336-339.
- [16] 黄小龙, 胡书玉, 徐少华, 等. 高效液相色谱串联质谱法测定猪尿中的氯霉素[J]. *广东化工*, 2018, 45(10): 222-224.
- [17] 万宇平. 快速检测技术在食品安全监管中的应用及发展新方向[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2011, 29(4): 1-5.
- [18] 庞国芳, 林海丹, 林峰, 等. 可食动物肌肉、肝脏和水产品中氯霉素、甲砒霉素和氟苯尼考残留量的测定 液相色谱-串联质谱法: GB/T 20756—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [19] 范素菊, 杨兴东, 高润. 氯霉素单克隆抗体的制备及 ELISA 检测方法的建立[J]. *中国畜牧兽医*, 2018, 45(9): 2566-2574.
- [20] TAO X Q, JIANG H Y, ZHU J H, et al. An ultrasensitive chemiluminescent ELISA for determination of chloramphenicol in milk, milk powder, honey, eggs and chicken muscle[J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2014, 25(1): 137-148.
- [21] 宋永青, 赵榕, 梁高道, 等. 肉与肉制品 氯霉素含量的测定: GB/T 9695. 32—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [22] LU Y Z, CHEN W. Sub nanometre sized metal clusters; From synthetic challenges to the unique property discoveries[J]. *Chemical Society Reviews*, 2012, 43(31): 3594-3623.
- [23] YU P, WEN X M, TOH Y R, et al. Fluorescent metallic nanoclusters; Electron dynamics, structure, and applications[J]. *Particle & Particle Systems Characterization*, 2015, 32(2): 142-163.
- [24] ZHENG J, ZHANG C W, DICKSON R M. Highly fluorescent, water soluble, size tunable gold quantum dots[J]. *Physical Review Letters*, 2004, 93(7): 1-4.
- [25] FORWARD J M, BOHMANN D, FACKLER J P, Jr, et al. Luminescence studies of gold(I) thiolate complexes[J]. *Inorganic Chemistry*, 1995, 34(25): 6330-6336.
- [26] XIE J P, ZHENG Y G, YING J Y. Protein-directed synthesis of highly fluorescent gold nanoclusters[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2009, 131(3): 888-889.
- [27] DEVADAS M S, KIM J, SINN E, et al. Unique ultrafast visible luminescence in monolayer-protected Au<sub>25</sub> clusters[J]. *J Phys Chem C*, 2010, 114(51): 22417-22423.
- [28] WU Z K, JIN R C. On the ligand's role in the fluorescence of gold nanoclusters[J]. *Nano Letters*, 2010, 10(7): 2568-2573.
- [29] KAWASAKI H, HAMAGUCHI K, OSAKA I, et al. pH-dependent synthesis of pepsin-mediated gold nanoclusters with blue green and red fluorescent emission[J]. *Advanced Functional Materials*, 2011, 21(18): 3508-3515.
- [30] SHANG L, BRANDHOLT S, STOCKMAR F, et al. Effect of protein adsorption on the fluorescence of ultrasmall gold nanoclusters[J]. *Small*, 2012, 8(5): 661-665.
- [31] DÍEZ I, KANYUK M I, DEMCHENKO A P, et al. Blue, green and red emissive silver nanoclusters formed in organic solvents[J]. *Nanoscale*, 2012, 4(15): 4434-4437.
- [32] DING W C, LIU Y, LI Y J, et al. Water soluble gold nanoclusters with pH dependent fluorescence and high colloidal stability over a wide pH range via co reduction of glutathione and citrate[J]. *RSC Advances*, 2014, 4(43): 22651-22659.
- [33] COX D M, BRICKMAN R, CREEGAN K, et al. Gold clusters reactions and deuterium uptake[J]. *Zeitschrift für Physik d Atoms Molecules and Clusters*, 1991, 19(14): 353-355.
- [34] VALDEN M, LAI X, GOODMAN D W. Onset of catalytic activity of gold clusters on titania with the appearance of nonmetallic properties[J]. *Science*, 1998, 281(5383): 1647-1650.
- [35] LI J, ZHOU Z J, LI Z M, et al. Biomimetic one-pot synthesis of gold nanoclusters/nanoparticles for targeted tumor cellular dual-modality imaging[J]. *Nanoscale Research Letters*, 2013, 8(1): 1-7.
- [36] DU RGADAS C V, SHARMA C P, SREENIVASAN K. Fluorescent gold clusters as nanosensors for copper ions in live cells[J]. *Analyst*, 2011, 136(5): 933-940.
- [37] CHENG Y L, KANG W H, GUO Y H, et al. Visual detection of Cu<sup>2+</sup> based on fluorescence quenching of green-synthesized gold nanoclusters using soy protein as template[J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2017, 28(5): 848-858.
- [38] HEMMATEENEJAD B, SHAKERIZADEH-SHIRAZI F, SAMARI F. BSA-modified gold nanoclusters for sensing of folic acid[J]. *Sensors and Actuators B*, 2014, 199: 42-46.
- [39] CHEN H Y, LI S L, LI B W, et al. Folate modified gold nanoclusters as near infrared fluorescent probes for tumor imaging and therapy[J]. *Nanoscale*, 2012, 4(19): 6050-6064.

(上接第 209 页)

- [12] 施建在. 造纸法再造烟叶生产线萃取率的计算方法[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(8): 83-84.
- [13] 杨柳, 朱杰丽, 郑俊旦, 等. 微孔滤膜-折光法测定冬笋中可溶性固形物含量[J]. *浙江林业科技*, 2014(3): 79-81.
- [14] 郭秀春, 郭小白, 张苗苗, 等. 莱茵-埃农氏法和高效液相色谱-示差折光法检测奶粉中乳糖和蔗糖的比较研究[J]. *食品科学*, 2016, 37(12): 139-143.
- [15] ZUDE M, HEROLD B, ROGER J M, et al. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77(2): 254-260.
- [16] 张文德, 胡志芬, 张琳, 等. 酱油中可溶性无盐固形物三种测定方法的比较[J]. *中国调味品*, 2009, 34(6): 89-92.
- [17] 张金云, 王莹莹, 曾祥燕, 等. 折光法与干燥法测定粉糖浆固形物的比较研究[J]. *现代食品科技*, 2006, 22(3): 222-223, 226.
- [18] 唐丽华. 用折光计法与干燥失重法测定 16 种中药水煎液总固体含量的对比分析[J]. *中国野生植物资源*, 1995(2): 52-54.
- [19] 张书芬, 史萍萍, 王金林, 等. 液相色谱示差折光法测定蜂蜜中的果糖、葡萄糖、蔗糖和麦芽糖[J]. *食品科学*, 2008, 29(6): 280-283.
- [20] 刘泰然, 李洁, 刘平, 等. 高效液相色谱-示差折光法测定保健食品中的低聚木糖[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(2): 132-135.
- [21] 李婧玙, 曾平. 折光法测定造纸法再造烟叶涂布液中可溶性固形物含量[J]. *黑龙江造纸*, 2017(4): 36-39.
- [22] 周国福, 刘恩芬, 陈岭峰, 等. 折光法测定造纸法再造烟叶梗膏、叶膏中可溶性固形物含量[J]. *纸和造纸*, 2017, 36(2): 47-50.