

纳米色敏传感-可见/近红外光谱的霉变小麦菌落数定量分析

康文翠, 林 颖*, 左 敏*, 王 卓, 段雅娴, 陈全胜, 林金山

江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013

摘 要 提出了以纳米色敏传感器捕获挥发气体为中介质的可见/近红外光谱检测霉菌感染小麦的新方法。以霉菌感染的小麦为研究对象,在恒温恒湿条件下储藏不同的时间;通过纳米化处理过的色敏传感作为中介质捕获小麦霉变后产生的特征挥发气体,采用可见/近红外光谱检测分析挥发气体与纳米色敏传感结合前后的可见和近红外区域光谱变化特征,结合多变量分析模型预测小麦的霉菌菌落数。以灰绿曲霉和白曲霉为目标菌种,分别接种至无菌小麦以培养出不同带菌量的小麦样本,分别储藏3~9 d。根据前期的预实验,采用对特征霉变挥发气体敏感的色敏材料(8-(4-硝基苯基)-4,4-二氟硼二吡咯甲烷(NO₂BDP)和8-(4-硝基苯基)-4,4-二氟-6-溴硼二吡咯甲烷(NO₂BrBDP))组成的纳米传感器捕获特征挥发气体。采用无皂乳化法合成纳米级微球聚苯乙烯-丙烯酸处理色敏材料,提高色敏传感器捕获特征挥发气体的能力,以纳米化前后的NO₂BDP和NO₂BrBDP四种色敏材料构建传感器阵列。采集不同带菌量的小麦样本的可见/近红外光谱,运用多变量分析方法对光谱信息进行变量筛选,用平板菌落计数法测定菌落总数分别建立灰绿曲霉和白曲霉菌落总数的定量预测模型。实验结果表明,以纳米化NO₂BDP和NO₂BrBDP组成的传感器阵列为中介采集的带菌小麦的特征光谱波段建立的联合区间-无信息变量消除法偏最小二乘模型(Si-UVE-PLS)效果最佳,此时预测集的交叉验证平方根(RMSECV)为0.444 4 lgcfu,实测值与预测值的相关系数R_p为0.981 1。采用2个纳米化和2个非纳米材料组成的色敏传感阵列结合联合区间-遗传算法偏最小二乘模型(Si-GA-PLS)检测白曲霉菌落总数取得最佳检测结果,RMSECV为0.434 9 lgcfu,R_p为0.977 2。表明通过可见/近红外光谱与纳米色敏传感器技术结合的方法,能够良好的完成对挥发性气体的定量检测研究,实现霉变小麦的品质监控。

关键词 可见/近红外光谱; 纳米化色敏传感器; 多变量分析; 小麦; 菌落总数

中图分类号: O434.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)05-1569-06

引 言

小麦在储运过程中其抗霉性差,极易在储藏不当的情况下感染霉菌发生霉变^[1-2],不仅造成巨额经济损失,甚至还产生真菌毒素,严重威胁人畜健康。粮食上的霉菌种类繁多,曲霉属和青霉属是最常见的菌群^[3],也是造成粮食损失最为关键的两种菌类群。常规储藏粮食条件的初期,田间型霉菌如链隔抱霉、镰刀菌、螺孢霉、枝孢霉等的数量会以较快的速率下降,在霉菌总数中所占的比例大大减少。当局部有少量的水分升高时,会首先达到灰绿曲霉、白曲霉、黑曲霉等这些干生型霉菌生长的条件,这些霉菌会率先生长^[4]。在贮藏过程中发生不同霉变程度的小麦,某些霉菌会产生不

同类型和含量比例的挥发性气体,例如灰绿曲霉和白曲霉的代谢会产生以醇酮醛等为主的有机化合物,使得小麦带有霉腐味和酸败味^[5]。感染霉菌后的小麦会逐渐挥发出各种特异性的有机气体,通过对挥发性气体的检测分析来判别霉变状况是小麦霉变感染检测的一个重要途径。Anna Müller^[6]通过气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)检测分析不同谷物霉菌菌种的挥发性物质,并利用PCA法建立模型,结果发现不同菌种的挥发性物质之间存在着一定的差异。Olsson^[7]等将气相色谱质谱联用技术结合电子鼻技术,定量检测大麦样品在自然霉变过程中麦角固醇含量和相应的霉菌菌落总数,基此建立的偏最小二乘模型(PLS)具有良好的预测麦角固醇含量能力。Campos使用GC-MS测得发霉的小麦会产生多种挥发性有机气体,

收稿日期: 2019-03-21, 修订日期: 2019-08-09

基金项目: 国家重点研发项目(2016YF0401205-3), 2017年度江苏省研究生培养创新工程项目(SJCX17-0581)资助

作者简介: 康文翠, 1993年生, 江苏大学食品与生物工程学院硕士研究生 e-mail: 1873517719@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: linhaolt794@163.com; zuomin1234@163.com

如醇类, 醛类, 呋喃类, 酮类, 单萜类以及含氮和含硫化合物等^[8]。

近红外光谱是一种有效快速检测分析有机成分的检测技术, 近年来在农产品的成分检测上^[9-10], 取得较好的检测结果。本研究开发一种以纳米化色敏传感器捕获挥发气体为中间介质的可见/近红外光谱技术检测霉菌感染的小麦新方法。以霉菌感染的小麦为研究对象, 以纳米化处理过的色敏传感器作为中间介质捕获感染特定霉菌后的特征挥发气体, 采用可见/近红外光谱检测分析挥发气体与纳米色敏传感器结合前后的可见和近红外区域光谱变化特征, 结合多变量分析模型预测小麦的霉菌菌落数。

1 实验部分

1.1 霉菌感染小麦样本的制作

样品选取新鲜优质山东小麦种子“鲁农 116”品种。感染了两种霉菌绿曲霉和白曲霉的不同霉变程度小麦的制备主要是通过调控接种一定量霉菌的小麦在生化培养箱中的贮藏时间来实现的, 具体操作包括: 活化与培养霉菌, 对小麦灭菌并调节水分和给小麦接种霉菌。

1.2 色敏传感-可见/近红外光谱系统

采用自主搭建的近红外光谱检测系统, 如图 1 所示, 该系统的硬件主要包括色敏传感器、近红外光纤探头、卤素灯的光源、SONY 公司的线阵 CCDILX554B 的光谱仪, 便携式近红外光谱仪以及收集处理数据的计算机。

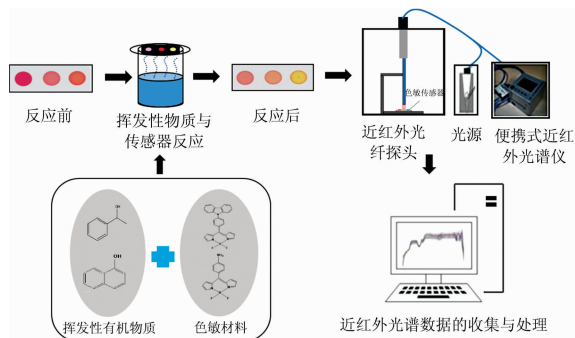


图 1 近红外-纳米色敏传感器检测系统

Fig. 1 Visible/near-infrared combined with nanoscaled colorimetric sensor array detection system

光源选用的是卤素灯可覆盖整个可见光直至近红外光谱区, 照射性能稳定且显色较好; 光谱仪采用的是索尼公司 (SONY) 的 CCDILX554B 线阵, 能够检测的光谱范围为 300 ~ 1 000 nm, 可获取近红外的光谱波段。近红外-色敏传感器系统的检测原理, 是通过获取与感染了霉菌的小麦的挥发性有机气体反应后的传感器的近红外光谱, 即通过近红外光谱检测色敏传感器的显色差异来探知小麦的霉变情况。

1.3 色敏传感-可见/近红外光谱数据的采集

利用近红外-纳米色敏传感器检测系统获取纳米色敏传感器与霉变小麦反应后的光谱数据。以灰绿曲霉为例, 用电子天平分别称量 25 g 新鲜小麦、贮藏 3, 5, 7 和 9 d 的霉变

小麦样本, 将上述制备好的传感器正面朝上地固定在保鲜膜上并将保鲜膜密封于称量瓶口并用皮筋固定好, 待传感器与霉变小麦挥发性气体反应达到平衡取出传感器; 最后用近红外光谱装置获取反应之后纳米色敏传感器的光谱数据。由于色敏传感器是固体板状, 采集的是光谱的反射率, 这样可以避免样本大小、形状、密度和均匀度等不同造成的偶然误差。在平均次数为 5 次, 平滑点数为 5, 积分时间为 20 ms 下分别获取与霉变小麦挥发性气体反应后的各个传感器单元的光谱信息, 获得的光谱数据中共有 1 799 个变量。

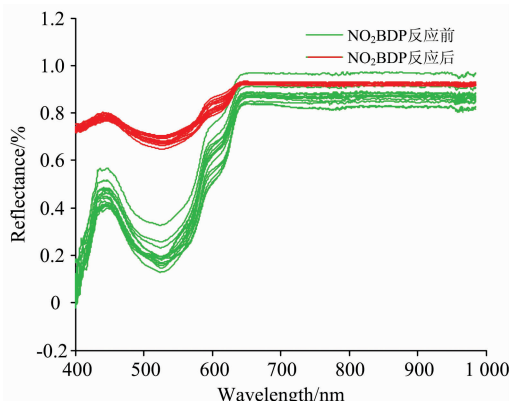


图 2 NO₂BDP 传感器反应前后的光谱图

Fig. 2 Spectra of NO₂BDP sensor before and after response

按照上述步骤采集与小麦霉变特征挥发性物质反应前后的色敏传感器的可见-近红外光谱, 如图 2 所示, 色敏传感器与小麦特征霉变气体反应之后采集可见-近红外光谱与反应之前的相比, 有明显的变化, 反射率有所增加, 且在 400 ~ 500 nm 波段内, 波峰的位置有所左移。

1.4 小麦霉菌数预测模型的建立

首先分别建立了 NO₂BrBDP、NO₂BDP、纳米化 NO₂BrBDP 和纳米化 NO₂BDP 四个传感器单元的光谱与霉菌菌落总数的联合区间偏最小二乘法 (Si-PLS) 模型, 从中找出最具代表性的区间。为了提高传感器的整体检测性能, 整合各个传感器单元中的最佳光谱数据构成新的光谱段。采用 GA 和 UVE 两种不同的变量筛选算法进一步筛选各个联合传感器的光谱数据, 建立 GA-Si-PLS 检测模型和 UVE-Si-PLS 检测模型。从而确定检测带菌小麦中灰绿曲霉和白曲霉的菌落总数的最佳模型。

1.5 霉菌菌落平板计数检测法

霉菌菌落总数的测定方法参照国家食品安全标准 GB 4789.15—2016 中的“食品微生物学试验霉菌与酵母菌数 (GB 4789.15—2016)”。

2 结果与讨论

2.1 两种霉菌感染小麦的菌落总数的测定

将完成灰绿曲霉霉菌和白曲霉霉菌接种的小麦分别在 30 °C, 90% 湿度的无菌培养箱培养, 培养第 3, 5, 7 和 9 d 分别取样, 对统计的菌落总数数据进行对数处理。

图 3(a)为接种灰绿曲霉的小麦菌落总数的变化规律,图 3(b)为白曲霉的菌落总数的变化规律。从图中可以看出,当两种带菌小麦各自在培养箱培养到第 3 d,两种霉菌菌落总数开始持续显著提升,在培养 5 d 左右后,总数增长的速度均达到最快。继续培养到第 7~9 d 时,灰绿曲霉的菌落总数增长趋于平缓,白曲霉的也呈现一定的平缓趋势,可能还会有一定程度的涨幅。

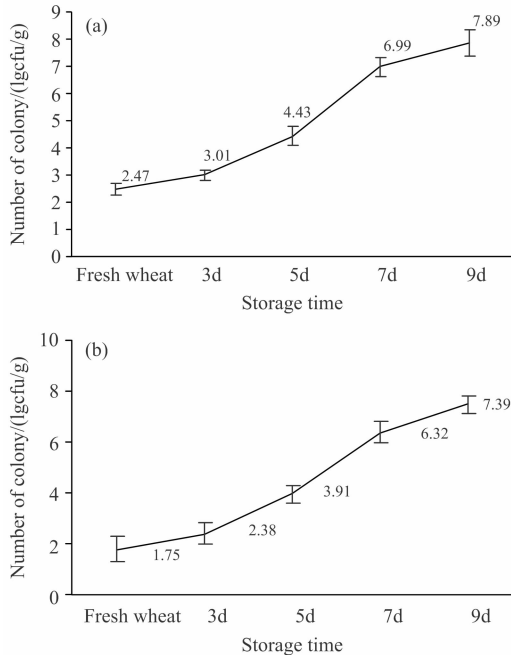


图 3 带菌小麦中的霉菌菌落总数变化规律

Fig. 3 Change rule of the total number of colonies of mildew wheat

2.2 霉菌感染小麦的色敏传感-可见/近红外光谱分析

纳米化色敏材料能够有效地增大与介质衬底结合交界处的比表面,有利于色敏粒径均匀分布,从而有助于提高色敏介质衬底与气体分子的结合力,为高灵敏度的传感器的制作提供基础。为了进一步探究纳米化色敏材料和非纳米材料在制成传感器后的区别,分别测定了它们的紫外-可见光谱。图 4 是纳米化色敏材料(nano-NO₂BDP)和非纳米分散色敏材料(NO₂BDP)的紫外-可见光谱图。可以看出,两种光谱在紫外可见区域均具有特征吸收,具有一个相同的λ_{max}值 507 nm,但各自显示出不同的吸光度值,其中 NanoNO₂BDP 在 507 nm 处的吸光度为 1.54, NO₂BDP 的吸光度为 0.73。此外, NanoNO₂BDP 的 R 带和 K 带吸收峰都发生劈裂及变宽现象,这种现象具有增色效果。

将上述制备好的纳米化色敏传感器用于对不同霉变程度小麦(新鲜小麦、贮藏 3, 5, 7, 9 d 的霉变小麦)挥发性物质信息的捕捉,如图 5(a)是感染了不同霉菌灰绿曲霉的小麦及其挥发性物质捕捉的图片,从图中可看出,随着贮藏时间的延长,感染了灰绿曲霉的小麦霉变程度在逐渐加深,小麦表面的霉菌在不断第滋生。霉变一个星期之后,由平板菌落计数法测定小麦中灰绿曲霉总数达到 6.99 lgcfu · g⁻¹,此时小

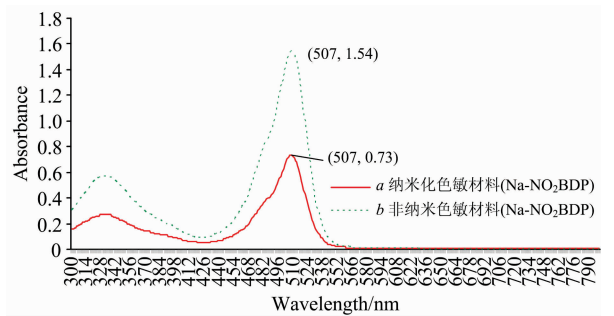


图 4 色敏材料在 CCl₂ 溶液中的紫外和可见吸收光谱
Fig. 4 Ultraviolet and visible absorption spectra of the dyes in CCl₂ solution

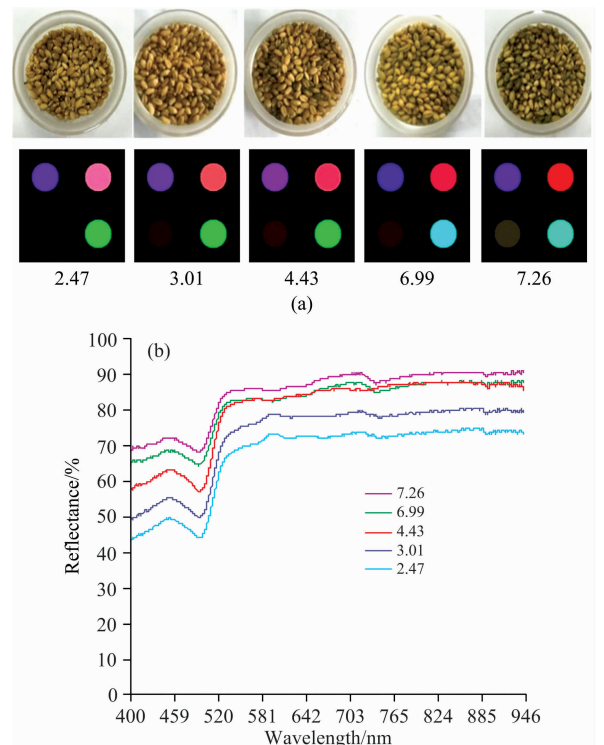


图 5 感染灰绿曲霉的不同霉变程度小麦的传感器响应(a)和可见-近红外光谱(b)

Fig. 5 Sensor response (a) and spectra (b) of sensor affected by the wheat infected *Aspergillus* with different moldy degrees

麦表面上生长得霉菌清晰可见。利用纳米化色敏传感器检测小麦霉变过程中的挥发性气体的变化,通过 Matlab 软件计算传感器反应前后的颜色变化差值图,得到不同贮藏时间的该色敏传感器阵列与其反应后均有肉眼可见的颜色变化,说明该传感器能够有效地鉴别出不同霉变程度的小麦。之后用可见-近红外光谱系统采集纳米化色敏传感器反应之后的信息,纳米化色敏传感器(NanoNO₂BrBDP)与感染了灰绿曲霉的小麦在不同贮藏时间的的光谱变化信息如图 5(b)所示。由图中的光谱图可以发现,含有不同霉菌菌落总数的光谱有着相似的整体趋势,其反射率在波长 400~500 nm 内都有一个波

峰,之后均会有一个急增,当波长达到 600 nm 时,采集的反射率呈现稳定的趋势。且随着霉菌的增多,在同一波段范围内,由传感器获得的近红外光谱的反射率在逐渐增大,这表明不同霉变程度的小麦可以通过纳米化色敏传感器捕捉到挥发性气体变化特征,此特征可以通过可见-近红外光谱技术检测到相关规律。

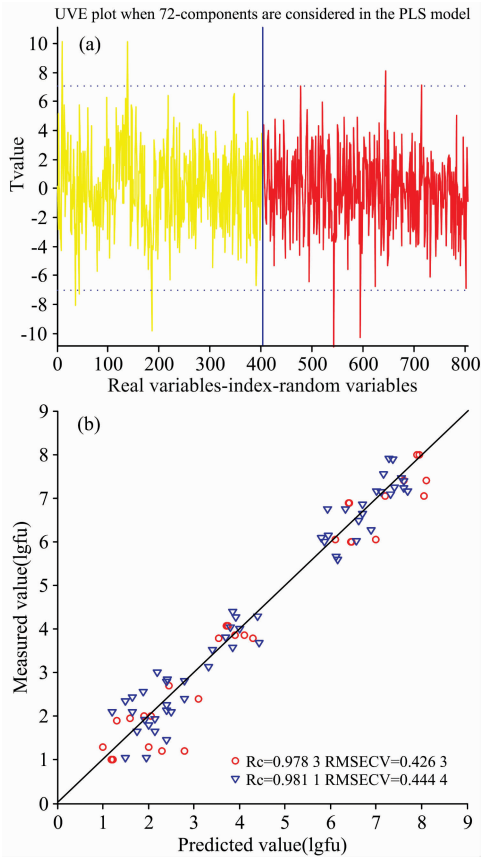


图 6 检测灰绿曲霉菌落总数的最优 Si-UE-PLS 模型

(a): UVE 算法筛选结果;

(b): 霉菌菌落总数实测值与模型预测值散点图

Fig. 6 Optimal Si-UE-PLS model of the total number of *Aspergillus glaucus* colonies

(a): Result of variables selection by UVE;

(b): Scatter plot of measured and prediction values

2.3 霉菌菌落检测模型的建立

2.3.1 灰绿曲霉感染后菌落总数预测模型的建立

利用同一次区间划分中精度较高的几个子区间建立起一种预测样本指标的 Si-PLS 模型,为了进一步提高检测灰绿曲霉菌落总数的精度,考虑联合同类传感器单元以联合其通过 Si-PLS 筛选出的相应的光谱的特征区间,先后建立 Si-GA-PLS 模型和 UVE-GA-PLS 模型,结果见附件表 1。比较所有的预测模型,发现以纳米化 NO_2BrBDP + 纳米化 NO_2BDP 的 2X1 式传感器基础所建立的 Si-UE-PLS 模型为最佳预测霉变小麦中灰绿曲霉菌落总数的模型。该模型预测值与实测值的相关性散点图见图 6。在最佳模型下主成分数为 10 时,训练集的 RMSECV 最小,为 0.423 6 lgcfu,预测

集的 RMSEP 为 0.444 4 lgcfu; 训练集中的灰绿曲霉菌落总数的实测值与预测值的相关系数 R_c 为 0.978 3, 预测集中的相关系数 R_p 为 0.981 1。

2.3.2 白曲霉感染后菌落总数预测模型的建立

同样地,为建立预测性能较好的检测白曲霉菌落总数的模型通过对比模型预测结果见附件表 2, 选用 NO_2BrBDP + NO_2BDP + 纳米化 NO_2BrBDP + 纳米化 NO_2BDP 的 2X2 式传感器,根据其采集的光谱信息建立的 Si-GA-PLS 模型为最佳选择。该模型的结果如图 7, 训练集的 RMSECV 为 0.434 9 lgcfu, 霉菌菌落总数的预测值与实测值相关系数 R_c 为 0.980 1; 预测集中, RMSEP 为 0.655 45 lgcfu, R_p 为 0.977 2。

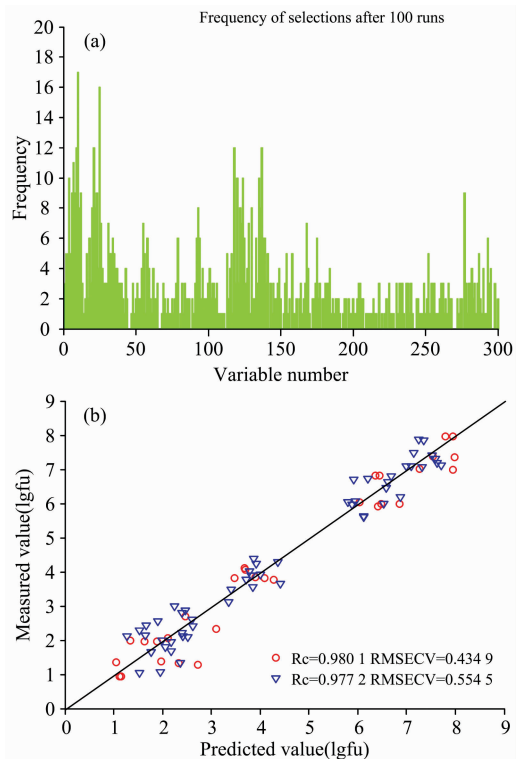


图 7 检测白曲霉菌落总数的最优 Si-GA-PLS 模型

(a): GA 算法晒选结果;

(b): 霉菌菌落总数实测值与模型预测值散点图

Fig. 7 Optimal Si-GA-PLS model of the total number of *Aspergillus candidus* colonies

(a): Result of variables selection by GA;

(b): Scatter plot of measured and prediction values

3 结论

以灰绿曲霉和白曲霉为感染小麦的目标菌种,分别接种至无菌小麦中以培养出不同带菌量(灰绿曲霉菌和白曲霉菌)的小麦样本,按照国标法对含两种霉菌的各个样本进行菌落总数的测定。以 NO_2BrBDP 、 NO_2BDP 、纳米化 NO_2BrBDP 和纳米化 NO_2BDP 构建传感器,结合可见/近红外技术采集不同带菌量的各个小麦样本的光谱信息,并对光谱信息进行

变量筛选, 从而分别建立灰绿曲霉和白曲霉菌落总数的定量预测模型。利用纳米化色敏传感器技术以及可见/近红外光谱分析技术分别完成了对小麦中灰绿曲霉和白曲霉的菌落总数的定量分析。

References

- [1] YUE Yan-fei, WANG Ruo-lan, QU Chen-ling(悦燕飞, 王若兰, 渠琛玲). *Cereals & Oils(粮食与油脂)*, 2018, 31(7): 24.
- [2] ZHAO Ya-juan(赵亚娟). *Journal of Henan University of Technology · Natural Science Edition(河南工业大学学报 · 自然科学版)*, 2013, 34(2): 43.
- [3] Jayas D S. *Agricultural Research*, 2012, 1(1): 21.
- [4] Shahin M A, Symons S J. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(1): 107.
- [5] XUAN Fei, QU Chen-ling, WANG Ruo-lan, et al(薛飞, 渠琛玲, 王若兰, 等). *Science and Technology of Food Industry(食品工业科技)*, 2017, (12): 344.
- [6] Müller A, Faubert P, Hagen M, et al. *Fungal Genetics & Biology*, 2013, 54(1): 25.
- [7] Olsson J, Börjesson T, Lundstedt T, et al. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 72(3): 203.
- [8] Parastar H, Garretalara E, Campos B, et al. *Journal of Separation Science*, 2018, 41(11).
- [9] Mendoza F A, Cichy K A, Sprague C, et al. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2018, 98(1): 283.
- [10] Siller D O H, Kashafi K, Charin R M, et al. *Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects*, 2018, 538: 565.
- [11] JIANG Xue-song, ZHAO Tian-xia, LIU Xiao, et al(蒋雪松, 赵天霞, 刘潇, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(12): 3729.

Quantitative Determination of the Number of Moldy Wheat Colonies Based on the Nanoscaled Colorimetric Sensor-Visible/Near Infrared Spectroscopy Technology

KANG Wen-cui, LIN Hao*, ZUO Min*, WANG Zhuo, DUAN Ya-xian, CHEN Quan-sheng, LIN Jin-jin
School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

Abstract This paper innovatively proposes a new method for detecting mold-infected wheat by visible/near-infrared spectroscopy, and it was employed with a nanoscale colorimetric sensor as an intermediate medium to detect volatile organic compounds (VOCs). The mold-infected wheat was stored under constant temperature and humidity conditions for different time duration to prepare experimental samples. The wheat after mold infection had different characteristic volatile gases, and visible/near-infrared spectroscopy was used to collect the spectrum information before and after the combination of volatile gas and nanosized colorimetric sensor respectively. The multi-variable analysis model was combined to predict the number of mold colonies of wheat. The *Aspergillus glaucus* and *Aspergillus candidus* were inoculated into sterile wheat to cultivate, and wheat samples were prepared by storing for 0~9 days. According to the pre-experimental study, colorimetric material 8-(4-nitrophenyl)-4,4-difluoroborodipyrromethane (NO₂BDP) and 8-(4-nitrophenyl)-4,4-difluoro-6-bromoborodipyrroethane (NO₂BrBDP) sensitive to volatile gases of wheat was used. A nanosized sensor array was fabricated to detect these characteristic volatile gases. The experiment used the soap-free emulsification method to synthesize a nanoscaled microsphere polystyrene-acrylic acid, and it was used to couple NO₂BDP and NO₂BrBDP dyes for producing nanoscale colorimetric sensors with high specific sensitivity. The spectral information of each wheat sample with different mold amount was collected by visible/near-infrared technology, as well as pre-processed by multivariate analysis. The number of colonies were determined by plate colony counting method, and quantitative prediction models were respectively established for the total number of *Aspergillus glaucus* and *Aspergillus candidus* colonies. The experimental results showed that the Si-UVE-PLS model for predicting the total number of *Aspergillus glaucus* colonies is the best in the characteristic spectral collected by two nanosized sensor. And the square root of the cross-validation of the prediction set was 0.444 4 lgcfu; the correlation coefficient between the measured value and the predicted value was 0.981 1. The optimal model for detecting the total number of *Aspergillus candidus* colonies was the Si-GA-PLS model with the spectral data collected by the sensor consisting of two nonnanosized and two nanosized sensors. The RMSECV of the prediction set was 0.554 5 lgcfu, and the R_p in the predicted set was 0.977 2. The research results showed that the combination of visible/near-infrared spectroscopy and nanoscaled sensor technology could well complete the quantitative detection of volatile gases and realize the quality monitoring of mildew wheat.

Keywords Visible/near-infrared spectroscopy; Nano-sensors; Multivariate analysis; Wheat; Moldy colonies number

* Corresponding authors

(Received Mar. 21, 2019; accepted Aug. 9, 2019)

《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行人,从 2004 年起为月刊,大 16 开本,2020 年仍为月刊,每期 332 页。《光谱学与光谱分析》主要报道我国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才;推动和促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和科研管理干部。

栏目设置和要求

1. 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以 8000 字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要,下同)为宜。

2. 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过 5000 字。

3. 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过 10000 字。

4. 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过 5000 字。

5. 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以 3000~4000 字为宜。

稿件要求

1. 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。

2. 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以 800 字为宜,英文摘要(建议经专业英语翻译机构润色)与中文摘要要对照;另附关键词。要求来稿应达到“齐、清、定”,中文、英文文字通顺,方可接受送审。

3. 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊只接收网上在线投稿,不接收以邮寄方式或 e-mail 方式的投稿,严禁“一稿多投”,对侵权、抄袭、剽窃等学术不端行为,一经发现,取消三年投稿资格。

4. 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。如作者特殊要求需出彩色插图者,必须在投稿时事先加以说明,并承担另加的彩印费用。图幅大小:单栏图 7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用 6 号字。电子文档中除实物图外,曲线图要用 Matlab, Excel, Visio 或 Origin 等软件制作,稿件中图片的原图并转成相应(可编辑)的文件格式(.fig, .xls, .vsd, .opj),非“.jpg”格式的文档,随电子版修改稿一同发送到本刊的修改稿专用邮箱。

5. 文中出现的单位必须按“中华人民共和国计量标准”及有关 GB 标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词头用正体字母。

6. 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。

7. 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以 15~20 条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。

8. 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个 e-mail,以便及时联系。

稿件处理

1. 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修改稿在 30 天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再做大的改动),若二个月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。

2. 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。

3. 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊 2 册。

4. 遵照《中华人民共和国著作权法》,投稿作者须明确表示,该文版权(含各种媒体的版权)授权给《光谱学与光谱分析》期刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一律认为已获作者授权认可。

5. 修改稿请寄:100081 北京市海淀区学院南路 76 号(南院西北门),《光谱学与光谱分析》期刊社(收)

电话:010-62182998 或 62181070 传真:010-62181070

e-mail: chngpxygpfx@vip.sina.com; 修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com 网址: http://www.gpxygpfx.com