

豆芽中生长调节剂类违禁添加物的检测方法研究进展

Advances in the detection method of prohibited plant growth regulators in bean sprouts

孟继秋^{1,2} 曹金博^{1,2} 孙亚宁² 胡晓飞²

MENG Ji-qiu^{1,2} CAO Jin-bo SUN Ya-ning² HU Xiao-fei²

李兆周¹ 陈秀金¹ 邓瑞广² 王耀¹

LI Zhao-zhou¹ CHEN xiu-jin¹ DENG Rui-guang² WANG Yao¹

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471003;

2. 河南省农业科学院动物免疫学重点实验室, 河南 郑州 450002)

(1. Food and Bioengineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China; 2. Key Laboratory of Animal Immunology, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China)

摘要:文章针对近年来频发的“问题豆芽”事件,介绍了豆芽生产过程中禁止添加的6-苄氨基嘌呤等植物生长调节剂的作用及危害,综述了用于此类生长调节剂检测的高效液相色谱、表面增强拉曼光谱、电化学、免疫分析、生物传感器等方法的应用现状,并对检测方法的发展方向进行展望。

关键词:豆芽;植物生长调节剂;检测方法

Abstract: In view of the frequent incidents of “problematic sprouts” in recent years, this paper introduced the function and harm of 6-Benzylaminopurine and other plant growth regulators which were forbidden to be added in the production of bean sprouts. Moreover, the application status of high performance liquid chromatography, surface enhanced Raman spectroscopy, electrochemical, immunoassay and biosensor in the detection of growth regulators were also reviewed, and the development direction of detection methods was prospected.

Keywords: bean sprout; plant growth regulator; detection method

基金项目:国家自然科学基金(编号:31702218);国家重点研发计划(编号:2018YFC1602903);河南省自然科学基金(编号:182300410038);河南省科技攻关项目(编号:182102110445,182102310230);河南省农业科学院科研发展专项资金项目(编号:2019CY04)

作者简介:孟继秋,男,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:王耀(1986—),男,河南科技大学副教授,博士。

E-mail: wangyao@haust.edu.cn

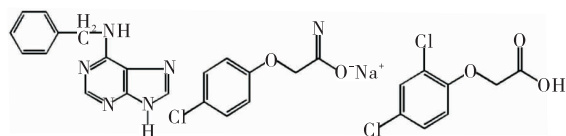
收稿日期:2019-11-18

豆芽作为一种营养丰富的蔬菜,食用方便,价格低廉,因而受到广大消费者的喜爱^[1]。豆芽在生长过程中会产生大量的酚类和黄酮类等物质,营养价值高和抗氧化能力强^[2]。随着中国芽菜产业迅速发展,“问题豆芽”事件频发^[3],植物生长调节剂的危害也逐渐引起了人们的关注及热议,为确保豆芽及其制品食用安全,根据《中华人民共和国食品安全法》《中华人民共和国农产品质量安全法》等相关法律的规定,原国家食品药品监督管理总局、农业部、国家卫生和计划生育委员会在2015年发布公告,严禁在豆芽生产过程中使用6-苄基腺嘌呤等植物生长调节剂类物质。2018年美国也将6-苄基腺嘌呤在水果蔬菜中的最低限量下调至0.01 μg/g。因此,为了满足食品安全监管的需要,豆芽中生长调节剂检测方法的研究备受重视。文章拟介绍豆芽中常见违禁添加的生长调节剂的作用与危害,并对国内外目前应用较为广泛的检测方法进行综述,以期对豆芽中生长调节剂检测方法的深入研究提供参考。

1 豆芽中主要生长调节剂的作用及危害

豆芽生产过程中违法添加的植物生长调节剂主要有6-苄基氨基嘌呤(6-Benzylaminopurine, 6-BA)、4-氯苯氧乙酸钠(Sodium 4-Chlorophenoxyacetate, 4-CPANa)以及2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, 2,4-D),其分子结构式如图1所示。6-BA是第一个人工合成的腺嘌呤型细胞分裂素,广泛应用于水果和蔬菜中,可有效增产保鲜,提高质量,延长货架寿命^[4]。6-BA还可

抑制根的生长,有研究表明,用 0.5~25.0 mg/L 的浓度处理豆芽可以使其色泽光亮、口感酥脆^[5],并缩短其生长周期^[6]。然而 6-BA 的滥用,不仅使其大量残留于食品中,威胁人身健康^[7],同时也污染环境。6-BA 的毒性主要表现在损害生殖系统和神经系统,甚至导致性早熟、急性中毒和癌症^[8]。4-CPANa 又称防落素,是一种内吸、广谱、高效、多功能植物生长调节剂^[9],作为植物生长调节剂使用时,可抑制豆芽生根、促进生长^[10]。其在体内大量蓄积,可诱发肝肾衰竭,心脏肿大,肺部淤血等症状^[11]。此外,有研究^[12]表明,4-CPANa 在不改变血液中激素水平的条件下,可诱导大鼠性腺细胞凋亡。2,4-D 是一种苯氧化合物,高浓度时常用作除草剂,低浓度时用作细胞分裂素^[13],用于豆芽的生产时,能缩短发芽期,促进产量,减少须根比例^[14]。其在体内的蓄积毒性主要表现为急性充血、内分泌紊乱、中枢神经退化甚至癌症的发生^[15]。植物生长调节剂在豆芽中的违规滥用,不仅使其大量残留在豆芽中,同时也随水体、土壤等途径污染环境。



(a) 6-苄基氨基嘌呤 (b) 4-氯苯氧乙酸钠 (c) 2,4-二氯苯氧乙酸

图1 豆芽中主要生长调节剂分子结构式

Figure 1 Molecular formulae of main growth regulators in bean sprouts

2 主要检测方法

目前应用于豆芽中植物生长调节剂的检测方法主要有高效液相色谱法、表面增强拉曼光谱法、电化学方法、免疫分析方法、生物传感器等方法。

2.1 高效液相色谱法

高效液相色谱(high-performance liquid chromatography, HPLC)是一种最常用的色谱分析技术,适用于测定农兽药残留及各种小分子分析物。其检测原理主要是根据待检样品中各成分极性的不同,在色谱柱流动过程中将其分离,并在检测器中分别进行分析^[16]。Wang 等^[17]建立了一种以氧化石墨烯/聚吡咯为吸附剂的高效液相色谱方法对豆芽中 6-BA 进行了检测,结果表明该方法在 44~2 200 ng/g 范围内具有良好的线性关系,线性相关系数为 0.999 8,回收率在 92.5%~103.7%,此吸附剂具有理想的泡沫形貌,不仅保持了石墨烯的层状结构,而且结块较少,大大提高了检测的灵敏度。而 Nian 等^[18]以聚[2-(二甲氨基)甲基丙烯酸乙酯-二甲基丙烯酸乙酯]为固相萃取吸附剂所建立的 4-CPANa 检测方法,其线性区间为 0.2~50.0 ng/mL,回收率为 75.0%~93.3%,检测限为 1 ng/mL,此方法自动化程度和吸附剂重复使用率高,既

节省检测时间又降低检测成本。刘春生等^[19]建立了超高效液相色谱—串联三重四级杆质谱法检测豆芽中 6-BA 与 4-CPANa,其检测结果在 0.4~100.0 ng/mL 区间具有良好的线性关系,检测限分别为 0.6, 0.9 ng/mL,回收率为 80.7%~115.0%。该方法虽然分辨率高、选择性强、假阳性和假阴性率低,检测准确度高,但也存在仪器昂贵和操作繁琐等弊端。

2.2 表面增强拉曼光谱法

表面增强拉曼光谱法(surface-enhanced raman spectroscopy, SERS)是一种高度灵敏的分析检测技术,其原理为吸附在贵金属纳米粒子表面的目标分子在激光的作用下受到局域电场的激发而产生拉曼散射^[20],由于其具有较高的信号增强因子,能达到百万级的光谱增强能力,可以在分子水平提供光谱信息,通常用于痕量分析和检测^[21-22]。张萍等^[23]采用快速溶剂提取前处理技术与 SERS 检测技术建立豆芽中 6-BA 残留物的快速定量检测方法,其结果在 0.1~2.0 $\mu\text{g/mL}$ 范围内呈现良好的线性关系,检测限为 20 ng/mL,回收率为 82.3%~95.1%,此方法采用快速溶剂提取的前处理技术,缩短检测耗时,提高检测效率。Wang 等^[24]利用纳米银作为载体建立 SERS 检测方法用于检测豆芽中的 6-BA,线性范围为 10~200 ng/mL,检测限为 3.3 ng/mL,回收率为 85.5%~113.0%,借助纳米金属粒子,使该方法检测限更低。Zhang 等^[25]开发出一种便携式表面增强拉曼光谱仪,可用于现场快速检测豆芽中 6-BA 残留,该方法检测线性范围为 0.1~5.0 $\mu\text{g/mL}$,检测限为 0.04 $\mu\text{g/g}$,回收率为 81.7%~95.0%,由于其便携性可直接用于现场检测,使检测过程更加简单、快捷。

2.3 电化学方法

电化学方法是根据不同物质的电化学特性差异,通过测定溶液中的电流、电位等电信号参数,判断被测物成分及含量的一种分析方法^[26],灵敏度高、成本低,反应速度快、试剂用量少、操作简单、仪器使用方便,已被广泛应用于各个领域^[27],但大多数电极材料对植物生长调节剂的氧化还原没有催化能力或催化能力较差,复杂电化学反应以及电氧化和电聚合还会导致强电极钝化(结垢)^[28]。因此,为了检测豆芽中的生长调节剂,现多致力于研究和开发新型电极材料。Zhu 等^[29]开发出一种液体基石墨烯分子印迹聚合物,对 6-BA 具有较高的催化活性和吸附能力,在优化条件下,电流与 6-BA 线性关系范围为 0.5~50.0 $\mu\text{mol/L}$,检测限为 0.2 $\mu\text{mol/L}$,回收率为 97.3%~108.0%,此方法使用的离子基液体交联剂具有良好的电催化性能,显著提高检测的灵敏度和稳定性。Gan 等^[30]合成出一种 $\text{CuO}@\text{SiO}_2$ 空心壳结构,电化学测试结果表明其对 6-BA 有良好的电催化活性,并以此建立了一种简单、快速的豆芽中 6-BA 检测方法,峰值电流与 6-BA 的浓度在 50 nmol/L~100 $\mu\text{mol/L}$ 范围内呈良好

的线性关系,检测限为 2.6 nmol/L,回收率为 97.2%~107.0%,此材料简单易得、堆积效率高,既缩短检测时间又降低检测成本。Gan 等^[31]通过将多壁碳纳米管与分子印迹壳聚糖充分混合,然后覆盖在玻碳电极表面,制备了纳米管,在优化条件下,线性范围浓度为 0.1 nmol/L~10.0 mmol/L,检测限为 50 pmol/L,回收率为 91%~103%,此材料会为 6-BA 提供更多的结合位点,以此材料制备的电极来检测豆芽中的 6-BA,受基质效应影响较小,灵敏度更高,检测结果更加准确。

2.4 免疫分析方法

免疫分析方法是基于抗原和抗体之间的特异性识别,利用酶、放射性同位素、荧光素等材料对抗原或抗体进行标记所建立的一种快速检测方法^[32],主要包括酶联免疫吸附试验(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)、免疫印迹(immunoblotting)、免疫层析(immuno-chromatographic assay, ICA)等,该类方法灵敏度高、特异性强且操作简单,但抗体制备周期较长且高亲和抗体筛选难度大^[33]。Zhang 等^[34]利用 6-BA 的代谢产物 6-苄基腺苷(6-benzylaminopurine riboside, 6-BAR)合成免疫原,通过免疫小鼠最终制备能同时特异性识别 6-BAR 和 6-BA 的单克隆抗体,并基于此抗体建立了 6-BA 的间接竞争 ELISA 检测方法,该方法的线性范围为 3.6~106.0 ng/mL,半数抑制浓度(IC_{50})为 18.9 ng/mL,回收率为 104%~109%,在豆芽生长后期,部分 6-BA 已经代谢为 6-BAR,此方法亦可通过检测 6-BAR 间接反映是否添加 6-BA。Wang 等^[35]将 SiO_2 纳米材料结合在包被原上建立了一种直接竞争 ELISA 方法用于检测豆芽中 2,4-D 残留,该方法线性范围为 1~350 ng/mL,检测限为 0.079 ng/mL,平均回收率为 93.2%, SiO_2 纳米材料的使用可有效提高检测灵敏度,降低检测限。Li 等^[36]基于单克隆抗体开发出一种用于快速检测豆芽中 6-BA 的胶体金免疫层析试纸,该抗体的 IC_{50} 为 2.25 ng/mL,试纸的检测范围为 10~80 ng/mL,该方法不但操作简单,而且在短时间内便可得到肉眼可见的结果,适合豆芽中 6-BA 的现场快速筛查。

2.5 生物传感器

生物传感器最早于 1962 年由 Clark 和 Lyons 最先提出和使用,主要包括生物识别单元和换能器两个重要组成部分^[37],其原理是将具有特异性识别能力的生物材料固定在固相载体上,形成功能膜,当膜与被测物质接触时,敏感物质首先与被测物质发生选择性吸附,然后发生一系列反应,并将结果转化为电信号,最后由仪器将检测结果直观地表现出来^[38]。根据生物敏感单元的不同主要可分为酶传感器、免疫传感器、微生物细胞传感器等^[39],此方法具有敏感性强、准确性高等特点^[40]。Lee 等^[41]利用非标记的光流环谐振器(opto-fluidic ring resonator, OFRR)建立免疫传感器对豆芽中 6-BA 进行检测,通过

优化 OFRR 毛细管和锥形光缆的制备工艺,制备了纳米级别的 OFRR 生物传感器,并用金纳米粒子与 6-BA 抗体结合,通过直接夹心法使检测限降至 10 ng/mL。Liu 等^[42]研究发现 2,4-D 具有抑制过氧化氢酶的能力,并基于这种抑制能力建立一种 2,4-D 的快速检测方法,该方法将过氧化氢酶固定于多孔磷酸钙纳米材料上,将 2,4-D 与过氧化氢同时注入反应体系,由于 2,4-D 的抑制作用使得过氧化氢的还原电流降低,还原电流与 2,4-D 浓度在 6.63~663.00 ng/mL 内呈线性关系,检测限为 3.3 ng/mL,该方法准确性好且重复性高。Paolo 等^[43]利用 2,4-D 对碱性磷酸酶的抑制作用原理,开发了一种快速、简单、廉价的检测 2,4-D 的生物传感器,在优化条件下,该传感器的线性范围为 2.1~110.0 ng/mL,检测限为 1.0 ng/mL,添加回收试验结果表明运用该传感器检测 2,4-D 具有良好的重现性,此方法所使用的酶传感器相较于免疫传感器具有成本低廉、重复使用率高等特点,整体检测性能更为优异。

3 展望

高效液相色谱、表面增强拉曼光谱等传统的仪器检测方法具有检测限低、准确度高、重复性好等优势,在实验室确证检测中得到了广泛应用,但这些方法仍存在仪器价格昂贵、操作繁琐等弊端,且目前便携式检测装备的研发仍较为缺乏。因此,未来仍须开发简便、快速、灵敏、特异的检测方法,以满足大批量样品快速筛查的需求。相比之下,免疫分析方法和生物传感器法利用高亲和力或强敏感性识别物对目标物进行快速识别,特异性强、灵敏度高且操作简便,在大批量样品的现场快速筛查方面具有极大的优势,若进一步将多种检测手段相互融合,优化检测条件,提高方法准确度和稳定性,并探索利用广谱性识别物建立高灵敏的多残留检测方法,将对植物生长调节剂违法滥用情况的高效监控提供有力保障。

参考文献

- [1] CHEN Lin, TAN Jue-tong, PANG Xin-yi, et al. Energy regulated nutritive and antioxidant properties during the germination and sprouting of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(27): 6 975-6 985.
- [2] AGUILERA Y, DIAZ MARIA FELICIA, JIMENEZ TANIA, et al. Changes in nonnutritional factors and antioxidant activity during germination of nonconventional legumes[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(34): 8 120-8 125.
- [3] 罗欣,傅亮,郝天瑶,等.绿豆芽生产过程中微生物的生长、分布及消毒剂处理效果评价[J]. *食品与机械*, 2017, 33(7): 51-55.
- [4] CHEN Bing-xia, YANG Hu-qing. 6-Benzylaminopurine alleviates chilling injury of postharvest cucumber fruit through

- modulating antioxidant system and energy status[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(8): 1 915-1 921.
- [5] DING Jun-zhou, YIN Tao, YU Xiang, et al. Effects of exogenous GA₃, 6-BA and mineral on mung bean sprouts growth [J]. Plant Physiology Journal, 2011, 47 (5): 501-504.
- [6] HUANG Shao-wen, YANG Jie, SUN Yuan-ming, et al. Effects of 6-benzylaminopurine on soybean sprouts growth and determination of its residue[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 83(2): 11-18.
- [7] WANG Wei-xiang, WANG Bin-rong, LIU Zi-hao, et al. Developmental toxicity and alteration of gene expression in zebrafish embryo exposed to 6-benzylaminopurine[J]. Chemosphere, 2019, 233(5): 336-346.
- [8] LIANG Yuan, ZHU Xiao-cui, WU Tong-bo, et al. Rapid and sensitive detection of auxins and flavonoids in plant samples by high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry[J]. Journal of Separation Science, 2012, 35(19): 2 559-2 566.
- [9] 杨婕, 黄少文, 孙远明, 等. 4-氯苯氧乙酸对绿豆芽生长的影响及其残留分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 104-108.
- [10] 高宗林, 曹旭妮. 二维液相色谱测定绿豆芽中赤霉素、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸和 2,4-二氯苯氧乙酸[J]. 化学试剂, 2019, 41(1): 63-68.
- [11] 刘红, 曾志杰, 李传勇, 等. 4-氯苯氧乙酸钠对小鼠的毒性及其残留分析[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 197-204.
- [12] YESCEDIL, ILKAYA E, BIDECI A, et al. Plant growth regulator (4-chlorophenoxy acetic acid) increases apoptosis in gonads of rats without changing hormonal levels[J]. Hormone Research, 2009, 72(4): 225-235.
- [13] BOIVIN A, AMELLAL S, SCHIAVON M, et al. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils[J]. Environmental Pollution, 2005, 138(1): 0-99.
- [14] JI Shi-lei, QI Li, LI Nan, et al. Preparation of amino acid-based polymer functionalized magnetic nanoparticles as adsorbents for analysis of plant growth regulators in bean sprouts[J]. Talanta, 2016, 158(1): 229-234.
- [15] GOBI KV, TANAKA H, SHOYAMA Y, et al. Highly sensitive regenerable immunosensor for label-free detection of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid at ppb levels by using surface plasmon resonance imaging[J]. Sensors and Actuators: B Chemical, 2005, 111(11): 562-571.
- [16] WALDRON K W, PARR A J, NG A, et al. Cell wall esterified phenolic dimers; Identification and quantification by reverse phase high performance liquid chromatography and diode array detection[J]. Phytochemical Analysis, 1996, 7 (6): 305-312.
- [17] WANG Ming-wei, ZHANG Hua, JIA Jun, et al. An extraction method for determination of 6-benzyladenine in bean sprout by graphene oxide/polypyrrole composite adsorbent[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(6): 1 832-1 839.
- [18] NIAN Qi-xun, AI Lian-feng, LI Dong-mei, et al. Rapid monitoring of plant growth regulators in bean sprouts via automated on-line polymeric monolith solid-phase extraction coupled with liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2018, 410 (27): 7 239-7 247.
- [19] 刘春生, 罗海英, 洗燕萍, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法测定豆芽中 7 种药物残留[J]. 质谱学报, 2014, 35(4): 302-310.
- [20] 杨恒, 张曼玲, 丁一. 表面增强拉曼光谱在 DNA 检测中的应用[J]. 激光生物学报, 2017, 26(5): 385-392.
- [21] 张泸文, 余婉松, 夏苏捷, 等. 基于表面增强拉曼光谱的养殖水中五氯酚残留检测[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 82-86, 157.
- [22] 常智义, 汪露, 梁相永, 等. 金纳米阵列薄膜的制备及在表面增强拉曼光谱中的应用[J]. 高分子材料科学与工程, 2018, 34(12): 119-123.
- [23] 张萍, 郑大威, 刘晶, 等. 基于表面增强拉曼光谱技术的豆芽 6-BA 残留快速检测方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1 266-1 269.
- [24] WANG Di, LIANG Fang-hui, MA Pin-yi, et al. Determination of 6-benzylaminopurine and Hg²⁺ in bean sprouts and drinking mineral water by surface-enhanced raman spectroscopy[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(4): 934-941.
- [25] ZHANG Ping, WANG Li-ming, ZHENG Da-wei, et al. Surface-enhanced Raman spectroscopic analysis of N6-benzylaminopurine residue quantity in sprouts with gold nanoparticles[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2018, 53(9): 561-566.
- [26] 钟平胜, 田春妹, 任佳丽. 电化学修饰电极在食品重金属快速检测中的研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 192-196.
- [27] ZHANG Yu-fan, BO Xiang-jie, GUO Li-ping. Electrochemical behavior of 6-benzylaminopurine and its detection based on Pt/ordered mesoporous carbons modified electrode[J]. Analytical Methods, 2012, 4(3): 736-741.
- [28] LU Shuang-shuang, WEN Yang-ping, BAI Ling, et al. pH-controlled voltammetric behaviors and detection of phytohormone 6-benzylaminopurine using MWCNT/GCE [J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2015, 750 (1): 89-99.
- [29] ZHU Xu-dong, ZENG Yan-bo, ZHANG Zu-lei, et al. A new composite of graphene and molecularly imprinted polymer based on ionic liquids as functional monomer and cross-linker for electrochemical sensing 6-benzylaminopurine[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2018, 108(15): 38-45.

- [30] GAN Tian, SHI Zhao-xia, LIU Ning, et al. A novel electrochemical sensing strategy for rapid and ultrasensitive detection of 6-benzylaminopurine in sprout vegetables by hollow core/shell-structured CuO@SiO₂ microspheres[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(10): 2 504-2 514.
- [31] GAN Tian, LV Zhen, SUN Yun-yun, et al. Highly sensitive and molecular selective electrochemical sensing of 6-benzylaminopurine with multiwall carbon nanotube @ SnS₂-assisted signal amplification[J]. Journal of Applied Electrochemistry, 2016, 46(3): 389-401.
- [32] SCHLOTTER M, ASSMUS B, HARTMANN A. The use of immunological methods to detect and identify bacteria in the environment[J]. Biotechnology Advances, 1995, 13(1): 75-90.
- [33] JIANG Wen-xiao, WANG Zhan-hui, BEIER R C, et al. Simultaneous determination of 13 fluoroquinolone and 22 sulfonamide residues in milk by a dual-colorimetric enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Analytical Chemistry, 2013, 85(4): 1 995-1 999.
- [34] ZHANG Wei, HE Li-shan, ZHANG Rui, et al. Development of a monoclonal antibody-based enzyme-linked immunosorbent assay for the analysis of 6-benzylaminopurine and its ribose adduct in bean sprouts [J]. Food Chemistry, 2016, 207: 233-238.
- [35] WANG Qian-long, LI Jie, LI Xing-de, et al. A simple nano-SiO₂-based ELISA method for residue detection of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid in bean sprouts[J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(5): 1 500-1 506.
- [36] LI Yue, LIU Li-qiang, SONG Shan-shan, et al. Development of a gold nanoparticle immunochromatographic assay for the on-site analysis of 6-benzylaminopurine residues in bean sprouts [J]. Food and Agricultural Immunology, 2017, 29(2): 1-13.
- [37] 马海华, 张元, 甄彤, 等. 电化学生物传感器在黄曲霉毒素检测中的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(2): 132-140.
- [38] SUZUKI H J M S, BIOMIMETIC E C, SYSTEMS S. Microfabrication of chemical sensors and biosensors for environmental monitoring [J]. Materials Science and Engineering: C, 2000, 12(1): 55-61.
- [39] 张莉蕴, 王延新, 王玉可, 等. 电化学生物传感器在真菌毒素检测中的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(9): 2 769-2 777.
- [40] 魏欢, 吴菲, 于萍, 等. 活体电化学生物传感的研究进展[J]. 分析化学, 2019, 47(10): 1 466-1 479.
- [41] LEE S, MOON J H, KIM G. Detection of 6-benzylaminopurine plant bioregulator using an opto-fluidic ring resonator (OFRR) biosensor [J]. Analytical Methods, 2012, 4(4): 1 041-1 045.
- [42] LIU Feng-ping, ZHONG Ai-ming, XU Qin, et al. Inhibition of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid to catalase immobilized on hierarchical porous calcium phosphate: Kinetic aspect and electrochemical biosensor construction[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2016, 120(29): 15 966-15 975.
- [43] BOLLELLA P, FUSCO G, TORTOLINI C, et al. Inhibition-based first-generation electrochemical biosensors: Theoretical aspects and application to 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid detection[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2016, 408(12): 3 203-3 211.

(上接第 121 页)

由表 2 可知,改进后班次平均人工纠偏由 29.86 次下降到 0.90 次;接装纸长短超差现象由 4.19 次/班下降到 0.19 次,改进效果在实践中得到了有力验证。

5 结论

研究了 ZJ17 卷接机组接装纸输送系统的可变 PI 自动纠偏机构,该机构能实现接装纸输送过程横向偏移量实时检测和自动纠偏,人工纠偏次数从改进前的 29.86 次/班下降到 0.90 次/班;由接装纸横向偏移造成的接装纸长短也由 4.19 次/班降低到 0.19 次/班,有效提高了接装纸输送系统的稳定性。该装置设计合理,电气系统运行稳定,对于提高卷烟产品质量、减少人工劳动强度具有显著的效果,在 ZJ17 卷接机组和其他超高速卷接设备上均具有较好的适用性和推广价值。在实际应用中,由于设备运行存在较多影响因素,控制产品质量不能完全依赖该机构代替人工监控,但可有效降低监控频次。

参考文献

- [1] 董祥云. YJ17-YJ27 卷接机组[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 1.
- [2] 王福金. 烟机设备修理工基础知识[M]. 北京: 北京出版社, 2013: 464-466.
- [3] 王己锋, 黄许立. 新型自动纠偏装置在接装机上的应用[J]. 自动化技术与应用, 2018(3): 24-26.
- [4] 邓光华. 烟机设备修理工(卷接)专业知识[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2013: 76-82.
- [5] 张建勋, 王志勇. 新型水松纸纠偏技术在卷烟接装机上的应用[J]. 科技资讯, 2011(2): 59.
- [6] 黄宏. PROTOS-M5 卷接机组[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2014: 202-213.
- [7] 邱鹏博, 何忠. 频闪仪在 YJ17-YJ27 卷接机组上的应用[J]. 轻工科技, 2012(5): 63-64.
- [8] 安培成. 浅析传感器技术在机电一体化系统中的应用[J]. 内燃机与配件, 2018(1): 82-83.
- [9] 刘庆贵, 周冬桥. 基于多传感器融合的卷烟机自诊断系统设计[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(3): 136-139.
- [10] 李瑞峰, 郑振华. 基于工业触摸屏的伺服电机控制系统研究[J]. 科技创新与应用, 2016(16): 76-76.