



李晓,陈科冰,韩明,等. 质构仪在烟叶力学特性检测中的应用进展[J]. 轻工学报,2021,36(3):63-69.
LI X, CHEN K B, HAN M, et al. Application progress of texture analyzer in the determination of tobacco leaf
mechanical properties[J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(3):63-69. DOI:10.12187/2021.03.008
中图分类号:TS411 文献标识码:A 文章编号:2096-1553(2021)03-0063-07

质构仪在烟叶力学特性检测中的应用进展

Application progress of texture analyzer in the determination of tobacco leaf mechanical properties

李晓¹, 陈科冰¹, 韩明², 马雨佳¹, 纪晓楠³, 楚晗¹

LI Xiao¹, CHEN Kebing¹, HAN Ming², MA Yujia¹, JI Xiaonan³, CHU Han¹

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;
2. 河南中烟工业有限责任公司 安阳卷烟厂, 河南 安阳 455004;
3. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心, 河南 郑州 450000

1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
2. Anyang Cigarette Factory, China Tobacco He'nan Industry Co., Ltd., Anyang 455004, China;
3. Technology Center, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China

关键词:

质构仪; 烟叶; 力学特性; 检测

Key words:

texture analyzer;
tobacco leaf;
mechanical property;
determination

摘要:对质构仪在烟叶力学特性(柔软性、黏附力、穿透力、拉力、剪切力、质构和脆性)检测中的应用研究进行了综述,指出:利用质构仪检测烟叶力学特性客观、灵敏,可较全面地反映烟叶在储藏、运输、工业加工过程中的受力情况,且检测结果与烟叶品质密切相关;然而,质构仪在烟叶力学特性检测中还存在对样品的一致性要求较高、缺乏标准的检测参数和方法、检测的准确性有待提高等不足.今后的研究应着力于调整、优化质构仪实验参数,建立规范化、标准化的烟叶样品预处理方法和检测流程,并针对烟梗回透率、烟丝柔软性等建立标准检测方法,以进一步推进质构仪在烟草研究领域的应用.

收稿日期:2020-12-09

基金项目:河南省科技攻关计划项目(142102210639)

作者简介:李晓(1967—),女,河南省南阳市人,郑州轻工业大学教授,主要研究方向为卷烟加工技术.

Abstract: The latest research progress in the application of texture analyzer to the determination of tobacco leaf mechanical properties (softness, adhesion, penetration, pull, shear force, texture and brittleness) was reviewed. It pointed out that the texture analyzer to determine the mechanical properties of tobacco leaves was objective and sensitive, which can more comprehensively reflect the stress conditions of tobacco leaves during storage, transportation, and industrial processing, and the test results were closely related to the quality of tobacco leaves. However, the texture analyzer detection technology in the determination of mechanical properties of tobacco leaves also had shortcomings such as high requirements for samples consistency, no standardized test parameters, methods and the necessity to improve detection accuracy and other deficiencies. The research should focus on adjusting and optimizing the test parameters of the texture analyzer, establishing normalized and standardized tobacco sample pretreatment methods and testing procedures; and establishing standard testing methods for tobacco stem return rate, tobacco softness, so as to further promote the application of texture analyzer in tobacco research area.

0 引言

烟叶是卷烟生产的原料,其物理特性对贮存工艺、烟叶加工、卷烟配方设计等均有极其重要的影响,是烟叶品质、加工性能及经济性的关键评价指标^[1-4]。烟叶的力学特性不仅是其主要物理特性之一,也是判断烟叶耐加工性能的重要依据^[5]。为使烟叶耐加工性能达到最佳状态,需要对烟叶的相关力学特性进行研究。目前,关于烟叶力学特性的研究主要集中在烟叶拉力^[6]、抗张强度^[7-8]、抗破碎指数^[9-11]等与烟叶品质的相关性分析方面。随着卷烟加工工艺水平的不断提高,相关技术人员创新了研究方法,通过质构仪建立了烟叶柔软性^[12]、黏附力^[13-14]、穿透力^[15-16]、剪切力^[17]及质构特性^[18]等烟叶力学特性检测方法,丰富了烟叶力学研究的内容。

质构仪又称物理特性测试仪,主要通过模拟人的触觉对样品进行检测分析,是一种精确的感官量化测试仪器^[19]。质构仪操作简单科学,不受人为主观因素干扰,检测灵敏度高,不仅可对样品的主要物理特性做出数据化的表述,还能有效解释样品在储藏、运输及加工过程中的物性变化。目前,利用质构仪对烟叶力学特性进行检测尚处于发展阶段,笔者在前人研究的基

础上,就质构仪在烟叶力学特性检测中的应用现状进行综述,并指出存在问题及今后的发展方向,旨在为丰富烟叶力学特性研究内容、有效提高卷烟原料利用率等提供理论依据。

1 质构仪在烟叶力学特性检测中的应用

传统的烟叶力学特性检测指标包括烟叶拉力、抗张强度、延伸率等,但这些指标主要通过拉伸烟叶检测其纵向延伸作用力,而烟叶在实际运输、加工过程中的受力是多方面的,这在一定程度上限制了烟叶相关力学特性的研究及其在实际生产中的应用^[20]。近年来,利用质构仪检测烟叶的力学特性已逐渐成为评价烟叶耐加工性能的重要技术手段。

1.1 烟叶柔软性检测

柔软性是指生物体与非生物体在力的作用下可弯曲的性能^[21],它能客观反映物体的柔软程度,属于物体的一种物理特性。烟叶的柔软性与烟叶外观品质、物理特性、化学成分均显著相关,可作为判断烟叶品质好坏的重要依据^[22]。

传统的烟叶柔软性检测多采用眼观、手摸等感官评价方法,这些方法耗时耗力、检测效率低,且无法量化烟叶的柔软程度,具有一定的主观性和不确定性。为进一步精确评价烟叶柔软性,徐向丽等^[23]借鉴纸张柔软性检测方法对不

同等级的烤烟进行柔软性检测,结果表明,该方法所测烟叶的柔软性与其外观品质鉴定结果的吻合度达 90.19% 以上,可用于评价烟叶的柔软性.王亮等^[24]在研究细小纤维对造纸法烟草薄片基片物理性能的影响时,利用柔软度仪检测基片的共振挺度以表征其柔软性,结果表明,随着细小纤维平均长度的降低,基片共振挺度上升,即柔软性变差.占俊文等^[25]为明确烤烟柔软性与烟叶外观品质的关系,利用柔软度仪检测了 480 份取自江西省的烤烟样品的柔软性,并评定了其外观品质,结果表明,烟叶柔软性与颜色、油分、色度呈极显著正相关,与成熟度、叶片结构、身份、总分呈极显著负相关.

质构仪可模拟抓握过程,真实反映人手对样品整体柔软程度的感知.沈进等^[12]依据这一原理,利用质构仪建立了再造烟叶柔软性检测方法,研究表明,国内外不同造纸法再造烟叶的柔软性差异显著,该方法可用于评价造纸法再造烟叶的柔软性.相较于传统的感官评价方法及柔软度仪检测方法,质构仪操作简单、方便,检测结果更准确,更能整体把握样品的柔软性^[26].

1.2 烟叶黏附力检测

烟叶黏附力主要指烟叶细胞内溢出的、具有黏性的液体或半液体脂类等大分子物质附着于烟叶表面的能力^[5].烟叶黏附力与其含水率、环境温度密切相关,且随含水率、环境温度的上升呈先增大后减小的趋势,通过分析烟叶黏附力与其含水率、环境温度的关系,可为打叶复烤过程中打叶水分、温度的设定提供数据支撑^[27-28].张玉海等^[14]利用质构仪的圆柱形探头,以 4500 g 的力对烟叶进行压缩测试,通过分析所得曲线参数建立了烟叶黏附力的检测方法.胡梦岩等^[13]为表征再造烟叶的表面黏性,利用质构仪建立了再造烟叶黏附力的检测方法,为提高再造烟叶的加工性提供了参考.姜元菲等^[29]分析了 3 个地区主栽烤烟品种的黏附

力,研究表明,河南许昌中烟 100 的黏附力最小,福建三明翠碧 1 号的黏附力较大,综合烟叶黏附力和其他力学检测指标,最后得出福建三明翠碧 1 号烟叶身份中等至略厚,烟叶持水能力略强,烟叶韧性较好.这与徐波等^[30]的研究结果一致.

烟叶黏附力还能体现烟叶的油分,其值越大表明油分越充足.有研究指出,烟叶油分含量与烟叶品质呈正相关关系,可通过烟叶黏附力判断烟叶油分,进而判断烟叶等级^[31].瑜奇伟等^[32]利用质构仪比较了不同等级烟叶的黏附力差异,结果表明,黏附力最大的烟叶等级均为 C1F,最小分别为 B4F 和 X4F.无论是天然烟叶还是造纸法再造烟叶,质构仪均能精确客观地评价其黏附力大小,检测结果与烟叶油分、水分、等级等密切相关,可更好地指导烟叶工业加工,但该方法较为耗时,对样品水分、温度的要求也较高.

1.3 烟叶穿透力、拉力和剪切力检测

穿透力是烟叶力学检测指标的重要反映,可为烟叶加工过程中的造碎提供数据支持.拉力和剪切力是指烟叶在一定水分条件下被拉伸、剪切至断裂时所能承受的最大外力,可通过质构仪的拉伸、剪切模式进行检测^[33].烟叶的穿透力、拉力是反映烟叶韧性的重要指标,与烟叶的成熟度密切相关,成熟度好的烟叶,穿透力、拉力较大,柔韧性较好,烟叶的耐打性也越好;烟叶的剪切力则反映烟叶结构的疏松程度,与烟叶厚度密切相关,烟叶越厚、越紧密,其剪切力越大^[30].

中国烟草总公司郑州烟草研究院^[15]依据烟叶物理特性的差异,利用质构仪对烟叶样品进行穿刺实验,建立了烟叶穿透力的检测方法.瑜奇伟等^[32]利用质构仪研究烟叶各部位的穿透力、拉力和剪切力,发现烟叶穿透力、拉力、剪切力与烟叶部位的差异均达到显著水平,其中,

上部烟叶较中部烟叶和下部烟叶的差异更明显. 剪切力也是再造烟叶重要的力学特性之一. 张玉海等^[17]利用质构仪对造纸法再造烟叶剪切力与其切丝过程的关系进行了研究,发现垂直纤维剪切力与切丝刀棍电流呈显著正相关关系,是影响切丝性能的重要因素. 张玉海等^[34]利用质构仪对造纸法再造烟叶进一步研究发现,造纸法再造烟叶的剪切力、拉力与其真密度、截面纤维形态密切相关:真密度越大,再造烟叶内部空隙容积越小、结构越紧实,拉力、剪切力越大;而剪切力、拉力较大的再造烟叶截面形态不平整,粗条纤维明显,纤维之间相互缠绕.

烟叶原料打叶特性是其自身力学特性的综合反映,利用质构仪检测量化烟叶的穿透力、拉力和剪切力,可为打辊转速等打叶工艺参数的设定提供依据^[29],然而,拉力、剪切力的检测方法对样品大小、形状要求较高,可能无法适用于烟片处理工段,可重新对探头选型,探究适用于较小尺寸结构烟叶的探头.

1.4 烟叶质构检测

TPA(Texture Profile Analysis)测试又称两次咀嚼测试,是食品中通用的质构测试方法,通过对样品进行两次压缩测试,描绘出TPA测试力-时间曲线图,如图1所示^[35-36].

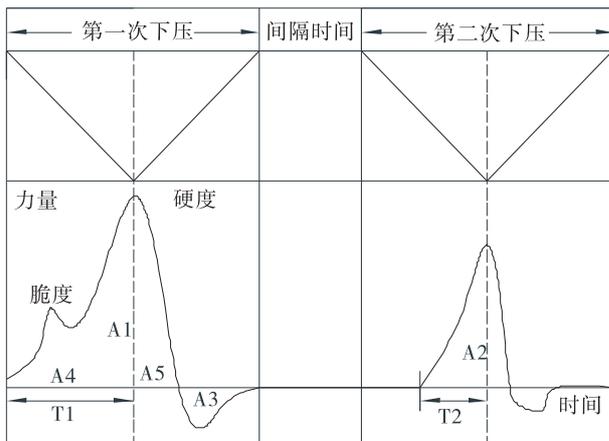


图1 TPA测试力-时间曲线图^[35-36]

Fig. 1 Force-time graph of TPA test^[35-36]

由图1可以分析质构特性参数,烟叶质构指标主要包括硬度、黏聚性、咀嚼性、回复性.其中,硬度可以反映烟叶的坚实度,是第一次下压时的最大峰值;黏聚性在图形上表示为A2面积与A1面积的比值,反映样品在经过第一次压缩后对第二次压缩的抵抗能力,即烟叶叶肉或主脉抵抗受损并使结构保持完整的性质;咀嚼性在数值上用胶着性与弹性的乘积表示,反映了烟叶对咀嚼的持续抵抗性;回复性是样品在第一次被压缩过程中所释放的弹性能与所耗能之比,在图形上用A5面积与A4面积的比值表示,主要反映烟叶的回弹能力^[37-38].

烟叶质构与其组织结构、形态结构、内在成分及可用性密切相关,是品质评定的重要构成因素.武圣江等^[39]利用p/50柱形探头,在测试速度和测后速度均为1 mm/s,变形量为50%,目标值为20 mm,触发力为10 g的条件下,对烟叶进行TPA测试,并结合烘烤过程中烟叶的色度变化规律,发现在变黄期38℃左右合理调控烘烤期间的环境,可使烟叶叶片的各种成分和关键指标朝着设定的目标转化,从而改善烟叶的外观和内在品质.宋朝鹏等^[40]利用质构仪对烤烟细胞在烘烤过程中生理和质地变化的研究表明,在烘烤过程中,烟叶果胶酯酶和纤维素酶会水解细胞壁物质,使细胞结构的完整性遭到破坏,烟叶质地软化,硬度、咀嚼性和回复性等值随之降低.该结果与张译丹等^[41]对烘烤过程中烟叶表皮微形态特征电镜扫描结果一致:随着烘烤的进行,腺头细胞皱缩,所含黏性物质进一步溢出,烟叶质地变软.

利用质构仪对烟叶进行TPA测试,可精确量化烟叶的物性特征,在烟叶生产加工领域具有广泛的应用前景,但目前该测试方法主要研究烘烤过程中烟叶质地与其生理结构及颜色的变化规律,对制丝线各主要工序烟叶质地的变化研究鲜有涉及.

1.5 烟叶脆性检测

烟叶脆性是指烟叶在受冲击作用或弯曲作用力时易折、易碎、韧性欠佳的性质^[42]。河南中烟工业有限责任公司^[20]利用质构仪的 TPA 模式,对烟叶和烟丝的脆性进行了评价分析,并对最终所得曲线进行了数据分析,得出烟叶脆性的数据。但利用质构仪的 TPA 模式检测烟叶、烟丝的脆性,需使用圆柱形探头将样品压缩至一定范围,样品需具有一定的厚度和回弹能力,而对烟叶、烟草薄片类似于纸张特性的样品,利用这种方法可能无法反映样品脆性的真实情况^[43]。

根据脆性材料的发脆本质认为,材料的破裂首先出现在其有缺陷的部位,这些缺陷破坏了材料内部的应力场而引起局部的应力集中,进而导致局部破裂,使材料产生裂纹,同时又引起更强的应力集中,当应力超过材料的极限压力时,会出现裂纹的扩展直至材料完全断裂^[44]。王志杰等^[45]利用质构仪的拉伸模式模拟撕开烟草薄片的过程,并以烟草薄片在撕裂一定距离或时间过程中的正峰个数表征其脆性。然而,天然烟叶组织结构及力学性能与烟草薄片存在较大差异,用于烟草薄片脆性评价的方法对细脉分布复杂的天然烟叶的适用性受限。

综上所述,将质构仪用于烟叶力学特性检测客观、灵敏,通过对烟叶的压缩、拉伸、剪切、穿刺等物理应力及应变综合测试结果分析,可较全面地反映烟叶在储藏、运输、工业加工过程中的受力情况,丰富烟叶力学特性的研究内容,为提高烟叶加工品质和加工水平提供理论依据。但质构仪在烟叶力学特性检测中还存在许多不足:一是质构仪在检测过程中对样品的一致性要求较高,选取的烟叶样品需具有很好的均匀性,否则对同一烟叶样品不同位置的检测结果可比性较差^[46];二是质构仪在烟叶力学检

测中缺乏标准的检测参数和方法,例如检测条件会影响烟叶质构的检测结果,包括烟叶的水分、温度、厚度、油分等;三是由于缺少科学的量化指标,检测结果仍需结合传统的物理特性检测方法以实现烟叶品质的综合评价,质构仪检测的准确性有待提高;四是质构仪多应用于烟叶或再造烟叶的力学指标检测,对烟丝、梗丝的物理指标检测鲜有涉及;五是拉力、剪切力的检测方法需要将样品裁剪成 1.5 cm × 15 cm 或 2 cm × 10 cm 条状,而烟片处理工段的烟叶样品可能无法满足裁剪条件,故这两种力学性能检测方法尚需进一步优化。

2 结语与展望

本文在对相关研究结果进行梳理的基础上,就质构仪在烟叶力学特性检测中的应用现状进行了综述,并指出存在的问题,认为目前利用质构仪建立的多种烟叶力学检测方法,为综合评价烟叶耐加工性能提供了理论依据,但部分检测方法尚不完善,所测样品只针对原烟阶段,无法适用于整个烟叶片的处理加工过程。因此,在以后的研究中,研究者需要充分结合质构仪的运行机理和样品的检测要求,依据烟叶自身的加工特性,选用合适的探头及检测方法,调整实验参数,建立规范化、标准化的烟叶样品预处理方法和检测流程,确保检测结果的客观性、稳定性。后续还可以更深入地研究质构仪在烟梗、烟丝等烟草制品力学检测中的应用,针对烟梗回透率、烟丝柔软性等建立标准检测方法,完善烟草力学特性研究内容,进一步拓展质构仪在烟草贮藏、加工过程中的发展空间。

参考文献:

- [1] 余建飞,郑福维,卿湘涛,等.湘西烟区气候特征及其对烟叶外观质量和物理特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2018,53(5):43.

- [2] 刘余里,张勇,刘艳芳,等.打叶复烤出片率影响因素分析[J].安徽农业科学,2021,49(5):185.
- [3] 王建民,孙意然,李瑞丽,等.烤烟物理特性与化学成分的典型相关分析[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2014,29(5):28.
- [4] 瞿先中,张劲,蒋士盛,等.外形尺寸对造纸法再造烟叶品质特性的影响[J].轻工学报,2020,35(5):26.
- [5] 张玉海,邓国栋,冯春珍,等.含水率对烟叶力学特性的影响[J].烟草科技,2013(1):10.
- [6] 王跃能,许龙,徐天养,等.云南砚山烟区烟叶的品质及其稳定性评价[J].贵州农业科学,2019,47(3):137.
- [7] 李晓华,吴祥娇,陈丽君,等.QC活动:检测造纸法再造烟叶成品抗张强度辅助装置的研制[J].黑龙江造纸,2016,44(2):11.
- [8] 鹿洪亮,林凯,李跃锋,等.再造烟叶抗张强度与纤维构成相关性研究[C]//中国烟草学会.中国烟草学会学术年会优秀论文集:2017年卷.北京:[出版社不详],2017:9.
- [9] 代惠娟,杨晔,李彬,等.烟叶机械加工性能与主要化学成分的关系分析[J].江西农业学报,2017,29(3):70.
- [10] 于建军,卫盼盼,杜闯光,等.烤烟抗破碎指数最佳测定条件的试验研究[J].湖南农业科学,2010(11):96.
- [11] 占俊文,沈雪婷,梁淑平,等.烟叶耐破度研究进展[J].湖南农业科学,2016(9):124.
- [12] 沈进,宋成剑,胡梦岩.基于质构仪的造纸法再造烟叶柔软度评价方法[J].烟草科技,2020,53(7):87.
- [13] 胡梦岩,宋成剑,李德贵,等.造纸法再造烟叶表面黏附力检测方法的建立及验证[J].烟草科技,2019,52(2):96.
- [14] 张玉海,王信民,邓国栋,等.质构仪法测定烟叶的黏附力[J].烟草科技,2011(11):5.
- [15] 中国烟草总公司郑州烟草研究院.烟叶穿刺强度的测定方法:201210015632.6[P].2012-07-18.
- [16] 张世芬,张德康,孙武,等.不同香型风格烤烟力学特性对烟叶外观质量的影响[J].河南农业科学,2021,50(2):58.
- [17] 张玉海,常纪恒,邓国栋,等.造纸法再造烟叶剪切力分析[J].烟草科技,2013(11):8.
- [18] 贺帆,王涛,武圣江,等.密集烘烤烤烟不同品种烟叶质地和颜色变化[J].核农学报,2014,28(9):1647.
- [19] 张秋会,宋莲军,黄现青,等.质构仪在食品分析与检测中的应用[J].农产品加工,2017,(24):52.
- [20] 河南中烟工业有限责任公司.一种用于烟叶脆性的检测方法:201310319248.X[P].2013-12-04.
- [21] 龚明.关于柔软性问题的探讨[J].上海体育学院学报,1982(1):1.
- [22] 周立新,陈丽平,徐向丽,等.中间香型烟叶柔软性与烟叶质量的相关性研究[J].湖南农业科学,2016(11):67.
- [23] 徐向丽,宋卫武,周文辉,等.初烤烟叶柔软性检测及细胞结构比较[J].湖南农业科学,2019(3):76.
- [24] 王亮,罗冲,温洋兵,等.细小纤维对造纸法烟草薄片基片物理性能的影响[J].中国造纸,2013,32(9):35.
- [25] 占俊文,罗昭标,何宽信,等.烤烟柔软度与外观质量的关系分析[J].山东农业科学,2017,49(6):26.
- [26] 上海烟草集团有限责任公司.造纸法再造烟叶柔软度的测定方法:201910701761.2[P].2019-10-08.
- [27] 中国烟草总公司郑州烟草研究院.一种基于烟叶力学特性的打叶水分及复烤温度控制方法:201810424734.0[P].2018-09-21.
- [28] 中国烟草总公司郑州烟草研究院.一种基于烟叶力学特性差异的打叶复烤新工艺:

- 201110362709.2[P].2012-06-13.
- [29] 娄元菲,杨雨波,欧明毅,等.不同地区主栽烤烟品种的力学与打叶特性分析[J].贵州农业科学,2019,47(1):131.
- [30] 徐波,姜焕元,范明登,等.基于“翠碧1号”品种烟叶典型力学特性的打叶复烤加工技术及应用[J].烟草科技,2020,53(7):80.
- [31] 邵波,吴洪林,娄强,等.烟叶分级油分的把控及其运用探讨[J].南方农业,2019,13(24):185.
- [32] 喻奇伟,堵劲松,陈雪,等.贵州毕节3个主栽烤烟品种力学特性分析[J].湖南农业科学,2018(4):78.
- [33] 刘继辉,高占勇,林鸿佳,等.高温烘焙前后复烤烟叶物理特性的变化[J].云南农业大学学报(自然科学),2016,31(4):719.
- [34] 张玉海,席年生,王岩,等.造纸法再造烟叶与烟叶部分物理特性指标的对比分析[J].烟草科技,2015,48(8):72.
- [35] 杜昕美,赵前程,吕可,等.五种苹果质构测定方法的比较及与感官评价的相关性分析[J].食品工业科技,2020,41(22):240.
- [36] 许可,邱国栋,李星科,等.冻藏时间对面团水分物态变化及品质特性的影响[J].轻工学报,2021,36(1):9.
- [37] 刘胜男,赵紫悦,杜浩楠,等.藜麦粉对面团粉质特性与馒头品质的影响[J].轻工学报,2018,33(6):63.
- [38] 任凯,陶康,于政鲜,等.TPA测试条件对豆腐质构测试结果的影响[J].中国调味品,2019,44(9):29.
- [39] 武圣江,周义和,宋朝鹏,等.密集烘烤过程中烤烟上部叶质地和色度变化研究[J].中国烟草学报,2010,16(5):72.
- [40] 宋朝鹏,官长荣,武圣江,等.密集烘烤过程中烤烟细胞生理和质地变化[J].作物学报,2010,36(11):1967.
- [41] 张译丹,岳诚,李军营,等.烟叶烘烤过程中表皮微形态特征的扫描电镜观察初报[J].云南农业大学学报(自然科学),2020,35(1):88.
- [42] 陈星波,刘攀,吴立群.造纸法烟草薄片脆性影响因素的研究[J].中华纸业,2015,36(24):33.
- [43] 中国海诚工程科技股份有限公司.一种造纸法烟草薄片脆性的测定方法:201410568496.2[P].2015-03-04.
- [44] 宋力,王大国,杨阳,等.基于细观力学的混凝土弹塑脆性损伤研究[J].应用力学学报,2013,30(4):480.
- [45] 王志杰,陈星波,严新龙,等.造纸法烟草薄片脆性的评价方法[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2014,32(5):5.
- [46] 陈辰.物流过程中鲜食葡萄品质的研究[D].天津:天津商业大学,2016.