



李晓,郭朋玮,周茂忠,等.烟丝物理指标对其回弹特性的影响研究[J].轻工学报,2024,39(1):97-102.
LI X, GUO P W, ZHOU M Z, et al. Research on the influence of physical indicators of cut tobacco on its rebound characteristics[J]. Journal of Light Industry, 2024, 39(1): 97-102.
DOI: 10.12187/2024.01.012

烟丝物理指标对其回弹特性的影响研究

李晓¹, 郭朋玮¹, 周茂忠², 孙觅³, 李劲锋¹, 张浩博¹, 李宜馨¹, 纪晓楠³

1. 郑州轻工业大学 烟草科学与工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 云南 昆明 650231;

3. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心, 河南 郑州 450000

摘要:以5种牌号常规卷烟成品烟丝为研究对象,采用多重线性回归分析方法研究烟丝物理指标对其回弹特性的影响规律,并构建基于BP神经网络的烟丝回弹特性预测模型。结果表明:烟丝物理指标对烟丝回弹特性的影响程度从大到小依次为碎丝率>中丝率>长丝率>填充值>弹性>含水率,其中,中丝率、长丝率、弹性、含水率与烟丝回弹特性呈正相关关系,碎丝率、填充值与烟丝回弹特性呈负相关关系;所构建的BP神经网络预测模型,测试集预测值与真实值比对 R^2 为0.9657,总体模型精度达到98.10%,烟丝回弹特性预测值与实测值之间的差异较小,模型具有较高的预测准确性和可靠性,可用于烟丝回弹特性的精确估算。

关键词:烟丝物理指标;回弹特性;多重线性回归分析;BP神经网络

中图分类号:TS45 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2024)01-0097-06

0 引言

烟丝在卷烟机烟枪成型通道内经过烟舌、小压板、大压板的3次压缩和3次回弹后^[1],定型成符合烟支规格烟条的过程称为烟条成型工艺^[2]。烟丝品质对烟支卷制成型品质至关重要,目前行业内常用填充值、弹性、烟丝结构、烟丝长度、含水率等物理指标表征烟丝品质。有研究表明,烟丝填充值影响成品烟支的感官品质^[3]、理化指标^[4]和烟丝消耗^[5];弹性反映烟丝的物理加工性能^[6-8];提高烟丝整丝率可降低卷烟单支质量^[9];中支卷烟烟丝长度在2.35~2.85 mm范围内时,可降低烟支空头率和

燃烧锥掉落倾向^[10]。但采用填充值、弹性等物理指标衡量烟丝品质对卷制成型品质的影响并不全面,填充值是在一定时间和一定压力作用下,对单位质量烟丝所占容积的表征,没有回弹过程参与^[11];弹性是在烟丝受压后完全释压状态下自由回弹的过程,反映烟丝受压后恢复受压前能力的大小^[11]。烟丝卷制过程中的回弹行为发生在卷烟纸包裹的非完全释压状态下,填充值、弹性并不能准确反映这种动态特性。另外,卷烟工业生产中通过优化烟丝结构和提高填充值来改善烟丝滑落、空头等现象难度较大^[9]。

对此,李晓等^[12]建立了能够全面真实衡量烟支

收稿日期:2023-04-26;修回日期:2023-06-25;出版日期:2024-02-15

基金项目:中国烟草总公司标准项目(2020QB0012);河南中烟工业有限责任公司重点项目(AW201911)

作者简介:李晓(1966—),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。E-mail:519389150@qq.com

通信作者:纪晓楠(1988—),女,河南省郑州市人,河南中烟工业有限责任公司工程师,主要研究方向为烟草加工工艺。E-mail:hnzy_jxn@163.com

卷制过程中烟丝回弹行为的指标——烟丝回弹特性,它是指烟支卷制过程中卷烟机烟枪成型通道对烟丝进行压缩后,烟丝在烟支卷筒内的恢复能力。回弹特性好的烟丝在烟条中的支撑能力强,不易滑移脱落,有利于控制烟支空头、端部落丝量等烟支物理指标^[12]。在此基础上,本文拟检测不同常规卷烟成品烟丝回弹特性及物理指标,研究影响烟丝回弹特性的关键因素,利用 BP 神经网络构建烟丝回弹特性预测模型,以期配方设计及加工过程参数的优化改进提供理论依据,同时为进一步提高烟丝适用性和卷烟卷制水平提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

材料:5 种牌号(A、B、C、D、E)常规卷烟的成品配方烟丝,均由河南中烟工业有限责任公司提供。

主要仪器:TA.XT-plus 型质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;PL3002 型电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;KBF 型恒温恒湿箱,美国 Binder 公司;DHG-9145A 型电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;YDZ-430 型烟丝填充值测定仪、T100 型烟丝弹性测定仪、YQ-2 型烟丝分选筛,郑州嘉德机电科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品取样及预处理 在卷烟机稳定运行情况下,每间隔 2 h 在烟枪出口处进行烟丝取样,每组样品取样 1000 g,共取 10 组,5 种牌号共计取样 50 组。将取好的烟丝样品贴好标签后,置于温度 22 ℃、相对湿度 60% 的恒温恒湿箱内平衡 48 h,备用。

1.2.2 样品数据检测 烟丝物理指标中,参照文献[13]的方法,使用烟丝弹性测定仪测定弹性;参照文献[14]的方法,使用烟丝填充值测定仪测定填充值;按照《卷烟工艺测试与分析大纲》^[15]的方法,使用烟丝分选筛测定烟丝结构,长丝(≥ 3.35 mm)、中丝(2.25~3.35 mm)、碎丝(≤ 1.00 mm) 3 种类型的烟丝质量按百分比进行计算;采用文献[16]的方法测定烟丝含水率。烟丝回弹特性利用文献[12]所建立的方法,使用质构仪进行测定。

1.3 数据处理与分析

利用 SPSS 26 分析软件作烟丝回弹特性与烟丝物理指标的散点图,确定自变量(弹性、填充值、整丝率、长丝率、中丝率、碎丝率、含水率)与因变量(烟丝回弹特性)之间是否存在关系,再进行多重线性回归分析,确定自变量之间是否存在共线性,并探索烟丝物理指标对烟丝回弹特性的贡献度,构建多重线性分析模型。

利用 Matlab R2022a 软件,采用 3 层网络结构,调用 Matalab 工具箱中的 newff 函数进行算法编程构建 BP 神经网络预测模型。激活函数、训练函数和仿真测试函数分别选用 sigmod 函数、trainlm 函数和 sim 函数。输入层为弹性、填充值、长丝率、中丝率、碎丝率和含水率 6 个指标数据,输出层为烟丝回弹特性。采用学习率自适应的梯度下降算法构建网络结构。

2 结果与讨论

2.1 烟丝回弹特性与物理指标的多重线性回归分析

2.1.1 烟丝回弹特性与物理指标线性关系检验 烟丝回弹特性与物理指标间的散点矩阵图如图 1 所示。由图 1 可知,图中的数据点大多分布在斜线附近,说明烟丝回弹特性与 7 个烟丝物理指标之间存在一定线性关系。

2.1.2 多重线性回归分析 将烟丝回弹特性与 7 个物理指标进行第一次多重线性回归分析,结果见表 1。由表 1 可知,整丝率与长丝率和中丝率的方差膨胀因子(VIF)皆大于 10,说明整丝率与长丝率和中丝率存在明显的共线性关系,故排除整丝率,进行第二次多重线性回归分析。分析时所建立的回弹特性预测模型 R^2 为 0.957,德宾-沃森为 1.331。回归标准化残差直方图如图 2 所示。由图 2 可知,残差直方图服从正态分布,且均数接近于 0,标准差接近于 1,符合标准正态分布。回归标准化残差正态 P - P 图如图 3 所示。由图 3 可知, P - P 图也满足正态条件,由此判断回归残差近似正态分布。方差分析结果见表 2。由表 2 可知, $F(6, 43) = 159.358$ ($P < 0.001$),回归模型成功建立,具有统计学意义。

第二次多重线性回归分析结果见表3。由表3可知,自变量的容差均大于0.1且VIF皆小于10,说明变量之间不存在多重共线性,表明6个烟丝物理指标间相互独立。含水率的偏回归系数检验显著性(P值)大于0.05,说明其对烟丝回弹特性的影响较小。而弹性、填充值、长丝率、中丝率、碎丝率及常量的偏回归系数检验显著性(P值)均小于0.05,且在 $\alpha=0.05$ 的检验水准下,可认为其偏回归系数均不为0,具有统计学显著性,均可纳入最终回归模型中。将表3中未标准化系数代入回归方程,得: $Y=5.634+0.021X_1-0.627X_2+0.036X_3+0.043X_4-0.172X_5$ 。其中,Y为烟丝回弹特性, X_1 为弹性, X_2 为填充值, X_3 为长丝率, X_4 为中丝率, X_5 为碎丝率。

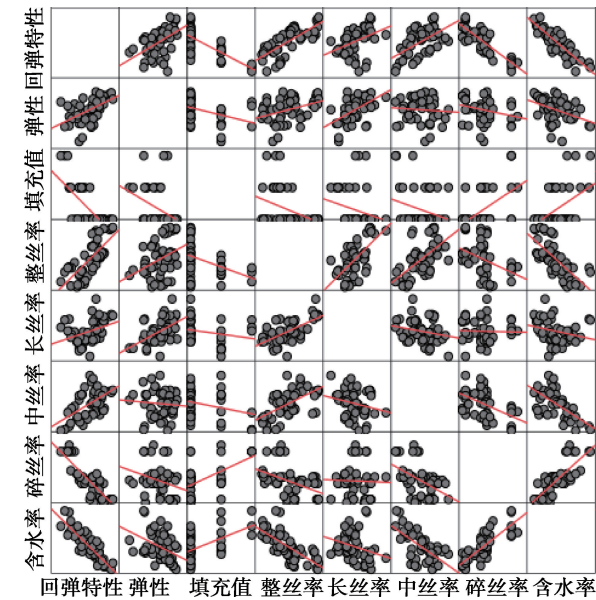


图1 烟丝回弹特性与物理指标间的散点矩阵图

Fig. 1 The scatter matrix diagram of the rebound characteristics and physical indicators of cut tobacco

根据标准化系数的绝对值,可得到烟丝物理指标对烟丝回弹特性的影响程度从大到小依次为:碎丝率>中丝率>长丝率>填充值>弹性>含水率。这可能是因为碎丝率高时,烟丝造碎较严重、整体结构不佳^[17],对烟丝整体的回弹特性破坏作用较明显;而中丝率对烟丝回弹特性的影响大于长丝率,则是由于烟丝中的长丝含量较高时,容易结团并影响烟丝结构^[18];含水率相对于其他物理指标对烟丝回弹特性的影响较小则是因为混丝加香出口含水率(近似于成品烟丝含水率)对成品烟丝质量的影响可以忽略^[19],其对烟丝品质的影响主要体现在感官品质上,且本文实验材料为成品配方烟丝,含水率波动范围整体较小。

另外,由标准化系数可知,中丝率、长丝率、弹性、含水率与烟丝回弹特性呈正相关关系,碎丝率、填充值与烟丝回弹特性呈负相关关系。原因可能是:1)中丝和长丝伸展能力较好,当烟支内的中丝、长丝含量越高时,烟丝在烟条内对卷烟纸的支撑力越强,卷烟纸承受的力越大,即烟丝的回弹特性也越大;相反,碎丝伸展能力较差,当烟支内的碎丝含量越高时,烟丝在烟条内对卷烟纸的支撑力越小,烟丝的回弹特性也越小。2)烟丝弹性反映了烟丝受压后恢复受压前能力的大小,一定程度上反映了烟丝回弹能力的大小,即弹性大的烟丝在烟条内经过回弹后对卷烟纸的压迫力大。3)填充值与烟丝回弹特性呈负相关关系,这是因为实验过程中,选用了低端牌号配方烟丝,其中的梗丝、再造烟叶含量均高于高端牌号,故其填充值虽高,但回弹特性反而不及具有高叶丝和高膨胀丝含量的高端牌号烟丝。

表1 第一次多重线性回归分析结果

Table 1 First multiple linear regression analysis results

模型指标	未标准化系数		标准化系数	t	显著性	B的95.0%置信区间		共线性统计	
	B	标准错误				下限	上限	容差	VIF
(常量)	5.513	2.034		2.710	0.010	1.408	9.618		
弹性	0.021	0.005	0.187	4.342	0.000	0.011	0.030	0.553	1.809
填充值	-0.626	0.114	-0.219	-5.510	0.000	-0.855	-0.396	0.645	1.551
长丝率	0.023	0.031	0.181	0.748	0.459	-0.040	0.086	0.017	57.272
中丝率	0.032	0.029	0.246	1.077	0.287	-0.028	0.091	0.020	51.059
碎丝率	-0.173	0.022	-0.504	-7.889	0.000	-0.217	-0.128	0.250	3.995
含水率	0.013	0.127	0.009	0.105	0.917	-0.243	0.270	0.139	7.215
整丝率	0.013	0.030	0.124	0.417	0.679	-0.048	0.074	0.012	86.747

2.2 BP神经网络预测模型构建及验证

2.2.1 BP神经网络预测模型构建 经多次建模试验后发现,当隐含层单元数为3时,能够实现最好的训练效果。设置模型训练集与测试集的比例为70:30,实际训练样品35个,测试样品15个。对预测模

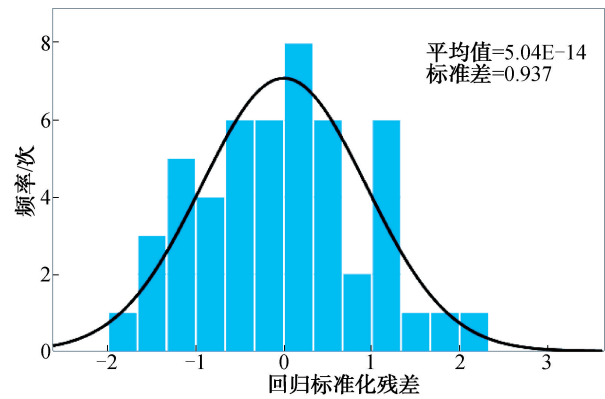


图2 回归标准化残差直方图

Fig. 2 Regression standardized residual histogram

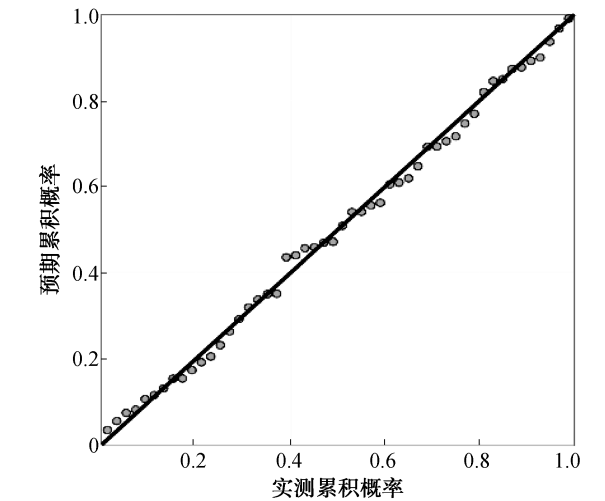


图3 回归标准化残差正态P-P图

Fig. 3 Regression standardized residual normal P-P diagram

型进行评价检验,模型训练预测相关性回归结果如图4所示,BP测试集预测值与真实值对比图如图5所示。由图4、图5可知,利用6个烟丝物理指标(弹性、填充值、长丝率、中丝率、碎丝率和含水率)所构建的烟丝回弹特性预测模型综合样本集 R^2 为0.981 03,表示总体模型精准度达到98.10%,而测试集预测值与真实值比对 R^2 为0.965 7,说明网络训练效果良好,模型相对稳定且具有较高的准确性。所构建的神经网络模型测试集均方误差(MSE)为0.035,均方根误差(RMSE)为0.187,平均绝对误差(MAE)为0.154。综合来看,神经网络模型在测试集上表现出较高的 R^2 ,较低的MSE、MAE和RMSE,这表明模型能够较好地解释目标变量的方差,且所预测的误差较小,在一定范围内,除去个别数据样本的影响,该模型能够对烟丝回弹特性进行精确估算。

2.2.2 模型自变量重要性检验 模型自变量重要性检验表见表4。由表4可知,对模型影响较大的指标是碎丝率、中丝率、长丝率、填充值和弹性,含水率的影响最小,该结果与多重线性回归分析结论一致。

2.2.3 BP神经网络预测模型验证 为验证所构建的烟丝回弹特性BP神经网络预测模型实际效果,针对5种牌号重新取15个批次的配方烟丝,并测定其物理指标和回弹特性,将物理指标实测值输入BP

表2 方差分析结果

Table 2 Results of variance analysis					
模型	平方和	自由度	均方	F	显著性
回归	1.286	6	0.214	159.358	0.000
残差	0.058	43	0.001		
总计	1.344	49			

表3 第二次多重线性回归分析结果

Table 3 Second multiple linear regression analysis results

模型指标	未标准化系数		标准化系数	t	显著性	B的95.0%置信区间		共线性统计	
	B	标准错误				下限	上限	容差	VIF
(常量)	5.634	1.994		2.826	0.007	1.613	9.655		
弹性	0.021	0.005	0.185	4.364	0.000	0.011	0.030	0.557	1.794
填充值	-0.627	0.112	-0.220	-5.578	0.000	-0.854	-0.400	0.645	1.550
长丝率	0.036	0.006	0.280	6.416	0.000	0.025	0.048	0.526	1.901
中丝率	0.043	0.007	0.338	6.363	0.000	0.030	0.057	0.354	2.826
碎丝率	-0.172	0.022	-0.501	-7.961	0.000	-0.215	-0.128	0.252	3.962
含水率	0.005	0.124	0.003	0.039	0.969	-0.246	0.255	0.142	7.031

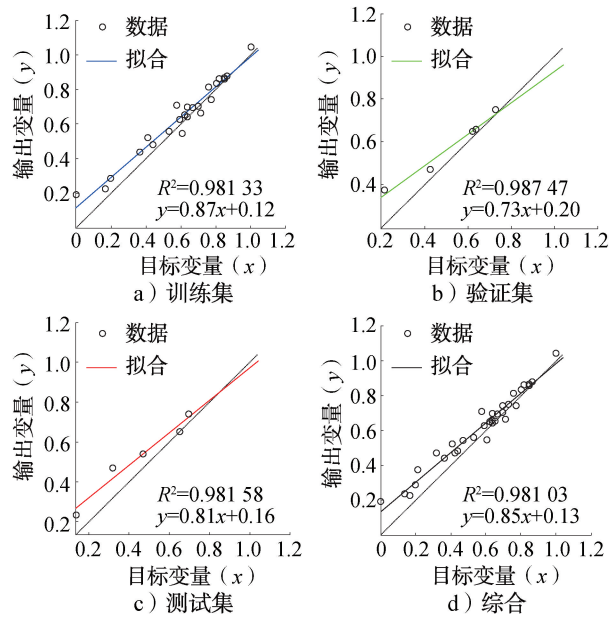


图4 模型训练预测相关性回归结果

Fig. 4 Model training predicts correlation regression

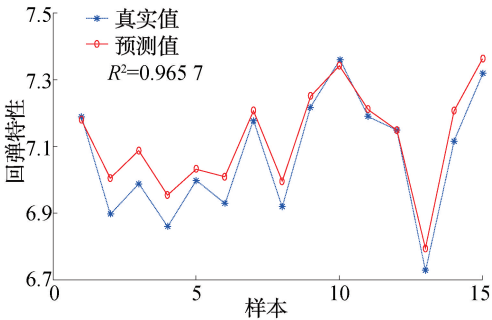


图5 BP测试集预测值与真实值对比图

Fig. 5 Comparison of predicted value and real value of BP test set

表4 模型自变量重要性检验表

Table 4 Independent variable importance test table

物理指标	重要性	正态化重要性/%
碎丝率	0.226	100.0
中丝率	0.162	71.7
长丝率	0.160	70.7
填充值	0.155	68.8
弹性	0.152	67.4
含水率	0.145	64.1

神经网络预测模型中获得烟丝回弹特性预测值。烟丝回弹特性实测值与模型预测值对比图如图6所示。由图6可知,实测值与预测值的结果差异较小,说明所构建的烟丝回弹特性预测模型效果良好,具有较好的预测准确性和可靠性。

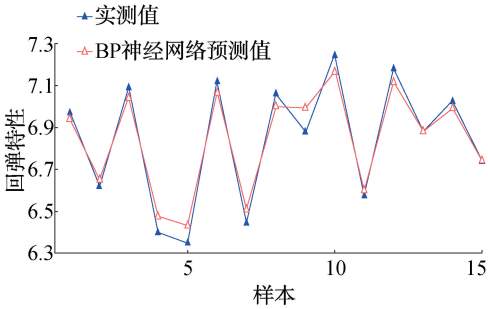


图6 烟丝回弹特性实测值与模型预测值对比图

Fig. 6 Comparison between actual measured values and predicted values of cut tobacco

3 结论

本文以5种牌号常规卷烟成品配方烟丝为研究对象,采用多重线性回归和BP神经网络预测模型研究了烟丝回弹特性与物理指标的关系。结果表明,烟丝物理指标对烟丝回弹特性的影响程度从大到小依次为:碎丝率>中丝率>长丝率>填充值>弹性>含水率,其中,中丝率、长丝率、弹性、含水率与烟丝回弹特性呈正相关关系,碎丝率、填充值与烟丝回弹特性呈负相关关系。针对烟丝回弹特性所建立的BP神经网络预测模型总体模型精度达到98.10%,测试集中预测值与真实值比对 R^2 为0.9657,烟丝回弹特性预测值与实测值之间差异较小,说明预测模型相对稳定且具有较高的精准度,可用于烟丝回弹特性的精确估算。

但本研究中采用的烟丝为成品配方烟丝,故不同牌号烟丝中梗丝、薄片等比例不同,成品烟丝中不同种类原料(叶丝、梗丝、薄片丝等)等对回弹特性的影响有待进一步研究。同时,烟丝回弹特性对空头剔除率、端部落丝量、硬度等烟支物理指标存在不同程度的影响,未来将开展不同牌号烟丝回弹特性对烟支物理指标的影响研究。

参考文献:

[1] 姚二民,储国海. 卷烟机械[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005:140-141.
[2] 方畅. 基于PROTOS 90高速烟机设备的设备综合效率研究改造[D]. 广州:华南理工大学,2018.
[3] 程向红,王宏伟,楚文娟,等. 自然醇化对烟梗可用性的影响[J]. 烟草科技,2019,52(5):50-56,76.

[4] 鲁平,楚文娟,崔春,等. 烟丝填充状态对卷烟卷制品质及包灰性能的影响[J]. 轻工学报,2023,38(5):68-73,82.

[5] 唐军,唐丽,周冰,等. 烟丝填充值与烟支重量及稳定性的相关分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(18):5977-5979.

[6] 刘国栋,王旭锋,李向阳. 制丝工艺参数对烟叶叶丝耐加工性和填充值的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(8):145-148.

[7] 张迪,张乾,朱建新,等. 烘丝工艺参数对叶丝弹性和填充值的影响[J]. 云南化工,2015,42(6):6-10.

[8] 王岩,朱文魁,刘楷丽,等. 滚筒分段变温干燥方式下烤烟叶丝质量的变化特征[J]. 烟草科技,2015,48(8):60-66.

[9] 姚光明,王文辉,尹献忠,等. 烟丝结构对烟丝填充值和卷接质量的影响[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版),2003(4):62-64.

[10] 朱波,陈智鸣,张旭升,等. 烟丝形态调控对中支卷烟卷制质量及稳定性的影响[J]. 烟草科技,2022,55(7):66-72.

[11] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[M]. 北京:中国轻工业出版社,2016:174.

[12] 李晓,李劲锋,郭朋玮,等. 烟丝回弹特性检测方法的建立及参数优化[J]. 中国烟草学报,2023,29(2):1-10.

[13] 国家烟草专卖局. 烟丝弹性的测定方法:YC/T 186—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004.

[14] 国家烟草专卖局. 烟丝填充值的测定:YC/T 186—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004.

[15] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺测试与分析大纲[M]. 成都:四川大学出版社,2004.

[16] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品水分的测定 烘箱法:YC/T 186—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004.

[17] 楚晗,范磊,王爱霞,等. 不同规格卷烟烟丝结构与物理质量的差异性研究[J]. 南方农业学报,2019,50(7):1565-1571.

[18] 邵宁,徐秀峰,万永华,等. 卷烟烟丝结构分布及其与物理质量的关系[J]. 南方农业学报,2017,48(5):883-888.

[19] 卓鸣,汪鹏,望开奎. 基于 MIV-BP 神经网络的成品烟丝质量预测模型构建[J]. 食品与机械,2021,37(12):151-166,214.

Research on the influence of physical indicators of cut tobacco on its rebound characteristics

LI Xiao¹, GUO Pengwei¹, ZHOU Maozhong², SUN Mi³, LI Jinfeng¹, ZHANG Haobo¹, LI Yixin¹, JI Xiaonan³

1. College of Tobacco Science and Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming 650231, China;

3. Technology Center, Henan Zhongyan Industry Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China

Abstract: Using 5 grades of conventional cigarette finished tobacco as the research object, multiple linear regression analysis method was used to study the influence of physical indicators of cut tobacco on its rebound characteristics, and a prediction model for tobacco rebound characteristics based on BP neural network was constructed. The results showed that the degree of influence of physical indicators of cut tobacco on the rebound characteristics of tobacco was ranked from large to small as follows: broken tobacco rate>medium tobacco rate>long tobacco rate>filling value>elasticity>moisture content. Among them, medium tobacco rate, long tobacco rate, elasticity, and moisture content were positively correlated with the rebound characteristics of tobacco, while broken tobacco rate and filling value were negatively correlated with the rebound characteristics of tobacco. In the constructed BP neural network prediction model, the comparison between the predicted value of the test set and the true value R^2 was 0.965 7, the overall model accuracy reached 98.10%. The difference between the predicted and measured values of cut tobacco rebound characteristics was small, and the model had high prediction accuracy and reliability, which could be used for accurate estimation of cut tobacco rebound characteristics.

Key words: physical indicator of cut tobacco; rebound characteristics; multiple linear regression analysis; BP neural network

[责任编辑:吴晓亭]