

基于近红外光谱技术的白茶可溶性糖总量快速测定研究

沈诗钰¹, 孙威江^{1,2,3,4*}, 唐 琴¹, 陈佳佳¹, 林馥茗², 黄 艳², 周 喆¹, 陈翠翠²

¹福建农林大学园艺学院,福州 350002; ²福建农林大学安溪茶学院,泉州 362400;

³福建省茶产业技术开发基地; ⁴福建省茶业工程技术研究中心,福州 350002;

摘要:本文以积分球漫反射模块采集 113 份不同等级不同年份的白茶近红外光谱图并进行预处理分析,采用萘酚比色法对来自不同厂家的白茶进行含量测定,运用偏最小二乘法(PLS)建立了白茶可溶性糖总量快速测定模型并对模型进行验证。试验结果表明所建立模型的相关系数(R)为 0.963,校正均方根差(RMSEC)为 0.363 9,验证均方根差(RMSEP)为 0.349,验证集平均相对误差为 3.11%。通过 NIRS 快速测定白茶总糖含量具有较高的可行性,该方法预测结果较好,能够准确、快速、无损的对白茶可溶性糖总量进行快速定量分析。

关键词:白茶;可溶性糖总量;快速测定;近红外光谱技术

中图分类号:Q946.9

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)1-0016-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.1.003

Rapid determination of total water-soluble sugars in white tea by near-infrared spectroscopy

SHEN Shi-yu¹, SUN Wei-jiang^{2,3,4*}, TANG Qin¹, CHEN Jia-jia¹,
LIN Fu-ming², HUANG Yan², ZHOU Zhe¹, CHEN Cui-cui²

¹Horticultural college of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

²Anxi tea college of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 362400, China;

³Tea Industry Technology Development Base of Fujian Province;

⁴Tea Industry Engineering Technology Research Center of Fujian Province, Fuzhou 350002, China

Abstract: This paper quantitatively determines the total water-soluble sugars in white tea rapidly by using Near-infrared Spectroscopy (NIRS) method. 113 white tea samples, manufactured by distinct providers in different years, and of different quality grades, are used to do the determination experiments. The near-infrared spectra of these samples is acquired and analyzed in the first place. And then a quantitative analysis model of total water-soluble sugars in white tea is established by adopting partial least square (PLS) method. The experimental results show that the correlation coefficient (R) of the proposed quantitative analysis model is 0.963 9, while the root mean square error of calibration (RMSEC), the root mean square error of prediction (RMSEP), and the average relative error of the validation set are 0.363, 0.349 and 3.11%, respectively. The model is of good predication performance, and thus can quantitatively determinate the total water-soluble sugars in white tea accurately, rapidly and losslessly. The result indicates the feasibility of NIRS in rapid determination of total water-soluble sugars in white tea.

Key words: white tea; total water-soluble sugars; rapid determination; NIRS

白茶是中国名茶,因其身披银毫,制作工艺简单,保留了茶叶原始的清香和甘甜,深受人们的喜爱^[1],研究表明,白茶在杀菌除臭、降血压、预防心血管疾病、减脂减重、抗癌、抗氧化、防辐射^[2-4]等方面

有着卓著的功效。糖类是植物重要组成部分,也是其他有机物质的前体,植物中大部分成分是由它们合成的。在六大茶类中,白茶的可溶性糖含量较高^[5],对白茶可溶性糖总量的测定,已逐步显示重要性。

近红外光谱的主要信息来源于-CH、-NH、-OH等含氢基团的倍频和合频吸收,含氢基团的基频吸收出现在中红外区,因此大部分物质在近红外区域

收稿日期:2018-6-25

接受日期:2018-11-27

基金项目:科技部重点研发专项“国家质量基础的共性技术研究与应用”子项(2016YFF0201904-03);福建省科技厅科技重大专项专题(2017N20002-1)

*通信作者 Tel:86-595-26163102; E-mail:swj8103@126.com

都有对应的吸收带,都能通过近红外光谱技术做定量分析。近红外光谱作为一种新型检测手段,在茶叶品质品质检测中发挥了重要的作用。如王曼等^[6]应用近红外光谱技术对黄山毛峰茶的鲜叶品质和等级做出快速判别,刘洪林^[7]利用近红外光谱技术对工夫红茶的含水率、游离态氨基酸、茶多酚进行快速检测。此外,近红外光谱技术还在年份鉴定^[8,9],真伪检测^[10],品种品质判别^[11,12]方面也发挥着重要作用。

目前,利用近红外光谱技术对茶叶中品质成分的测定分析主要为水分、水浸出物、全氮量、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、儿茶素、粗纤维等,对白茶可溶性糖总量快速测定研究几乎空白,本试验将测定的白茶可溶性糖总量真实值与其近红外光谱图相关联,通过化学计量法建立定量模型,以达到快速测定的目的。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料:白茶茶样均采购于福鼎市内各大茶企,涵盖本市内主要茶企,白茶茶样为2001年至2017年生产的不同等级(白毫银针、白牡丹、寿眉)、不同厂家的茶样共113个样,样品清单见表1。

试剂:无水葡萄糖(批号:20110414)、蒽酮(批号:20100225)、硫酸(批号:T20100903)试剂均购于国药集团化学试剂有限公司。

表1 白茶样品来源

Table 1 The origins of samples of white tea

品牌 Source	编号 No.	等级个数 Number of levels
品品香	1~25	3
鼎白	26~34	3
裕荣香	35~42	3
瑞达	43~49	3
大沁	50~54	2
茶乐购	55~61	3
天湖	62~80	3
六妙	81~92	3
广福	93~96	2
天健	97~98	2
张元记	99~103	2
七碗茶	104~113	2

1.2 仪器与设备

Antaris II 傅里叶近红外光谱仪(Thermo fisher scientific,美国);紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司);电热恒温水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司);BSA124S 电子天平(Sartorius,德国);高速粉碎机(上海鼎广机械设备邮箱公司);电热烘箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 近红外光谱的采集

取上述113份白茶茶样,均匀的抓取茶样,粉碎后过80目筛,装袋密封。

测定方法:应用积分球固体采样模块,每个白茶样品粉末装样10~12g,摇晃样品杯,使得样品匀整紧密的放入样品杯中,并将样品杯底部擦拭干净,不得沾染茶粉,待测。分辨率 8 cm^{-1} ,扫描次数64次,扫描范围 $10\ 000\sim 4\ 000\text{ cm}^{-1}$,扣除背景,Gain选择 $2\times$,以空气作为参比,使用空调控制室温,恒定在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采集白茶茶样近红外光谱图,每个样品重复三次,取平均值。

1.3.2 白茶可溶性糖总量的测定

蒽酮与很多碳水化合物产生颜色反应,糖类在硫酸作用下,脱水生成糠醛或羟甲基糠醛,然后蒽酮与糠醛或羟甲基糠醛发生反应,产生蓝绿色的糠醛衍生物,根据其在一定吸收波长处的吸光值和浓度的关系,可以进行定量分析^[13]。

白茶可溶性糖总量的测定采用蒽酮比色法测定,用分析纯的无水葡萄糖配置不同浓度的标准葡萄糖溶液做定量标准曲线。

具体操作方法为:称取茶叶磨碎样1.00g于100mL锥形瓶,加50mL沸水摇匀,沸水浴30min。趁热抽滤,滤渣反复洗涤,冷却后用蒸馏水定容至250mL,待测。取干燥的50mL锥形瓶,准确加入8mL蒽酮试剂,吸取0.5mL茶汤提取液逐滴加入。将混合溶液置于沸水浴中准确煮沸7min,取出后立即置于冷水中冷却至室温。测定液于620nm波长处比色,记录吸光度E值。实验重复三次,以蒸馏水作对照。

1.3.3 化学计量法的选择

建立定量模型是近红外光谱分析中较为重要的一步,对于组成复杂的天然产物如中药、烟草、茶叶等通常可以使用偏最小二乘法(PLS)^[14-16]。PLS是基于因子分析的多变量校正方法,也是目前在近红外光谱技术领域中的应用最多的多元校正方法。

1.4 数据处理

本研究运用 Omnic 软件进行数据格式的转换, Origin 2017 软件进行作图, TQ Analyst 8.0 软件进行光谱预处理和模型建立。

2 结果与分析

2.1 白茶近红外光谱图的采集与波段选择

运用 1.3.1 的方法对 113 份白茶近红外光谱进行采集, 样品近红外光谱原始图谱见图 1。由光谱图可知, 由于白茶样品的吸收基团含量有所区别, 样品的吸收峰和峰型有所差异, 不同等级和年份的白茶光谱图虽然总体较为相似, 但在高波长段的近红外光谱的吸收峰相对较强和尖锐, 区分较为明显。光谱在 $10\ 000 \sim 9\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 波段内物质成分差异不明显, 而 $9\ 000 \sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 信息丰富, 能较多的反映样品的性质。

近红外区域的主要光谱信息来源于含氢基团的倍频与合频吸收。茶叶中的糖类物质主要包括单糖、寡糖、多糖和少量其他糖类。单糖和双糖是茶叶中可溶性糖的主要成分, 茶叶中的单糖主要是葡萄糖、果糖, 双糖主要是蔗糖。其中, 葡萄糖、果糖、蔗糖的含氢基团为 C-H 基团和 O-H 基团。

由图 1 可知, 白茶的近红外光谱图在 $5\ 174\ \text{cm}^{-1}$ 和 $6\ 695\ \text{cm}^{-1}$ 两处有明显的吸收峰, 这是由 C-H 基团、O-H 基团的伸缩与变形振动组合频产生的。C-H 基团和 O-H 基团伸缩振动的基频吸收带在中红外区的 $3\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 和 $3\ 650\ \text{cm}^{-1}$ 附近, 弯曲振动在 $1\ 450\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 300\ \text{cm}^{-1}$ 左右, 由此推测出 C-H 基团和 O-H 基团一级倍频的位置在 $5\ 900\ \text{cm}^{-1}$ 和 $7\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 处, 二级倍频的位置在 $8\ 800\ \text{cm}^{-1}$ 和 $10\ 700\ \text{cm}^{-1}$ 处, 合频的位置在 $7\ 450\ \text{cm}^{-1}$ 、 $4\ 450\ \text{cm}^{-1}$ 和 $4\ 950\ \text{cm}^{-1}$ 处, 由此确定 C-H 基团和 O-H 基团的吸收范围主要在 $9\ 300 \sim 3\ 950\ \text{cm}^{-1}$ [17]。结合前人研究[18,19], 可溶性糖特征光谱主要集中在 $8\ 987 \sim 4\ 011\ \text{cm}^{-1}$, 最终选择 $9\ 000 \sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 作为白茶可溶性糖总量的建

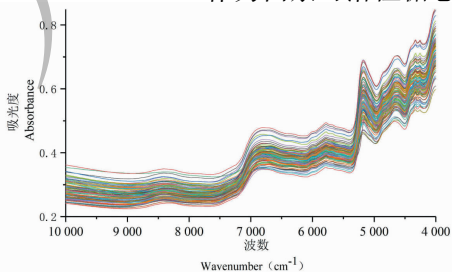


图 1 白茶样品近红外光谱图

Fig. 1 NIRS spectra of white tea samples

模波段。

2.2 白茶可溶性糖总量的测定

按照 1.3.2 方法, 测定 113 份白茶茶样的可溶性糖总量。由表 2 可知, 白茶的可溶性糖含量随着等级升高而降低。其中, 白毫银针的可溶性糖总量的平均值为 8.51%, 白牡丹为 8.77%, 寿眉为 9.45%, 不同年份及不同等级的可溶性糖总量差异较小。

表 2 白茶样品可溶性糖总量含量

Table 2 The content of total water-soluble sugars in white tea samples

种类 Kinds	可溶性糖总量 Total water-soluble sugars (%)	
	含量范围 Range	平均含量 Mean
白毫银针 Silver needle	6.10 ~ 11.01	8.51
白牡丹 White peony	5.69 ~ 11.67	8.77
寿眉 Long brow	7.00 ~ 12.02	9.45

2.3 近红外定量模型的建立

2.3.1 异常样本的剔除

样品光谱或测定数据与真实值偏差太多视为异常样品, 样品值异常可能为试验方法不当; 样品存储不当; 操作过程出现失误等原因。光谱异常可能是近红外光谱仪异常; 环境变动; 人为操作不当等原因[20]。113 个白茶样品的可溶性总糖最大值为 12.02%, 最小值为 5.69%, 范围较广, 覆盖了多年份多等级的白茶, 样本具有较好的代表性。本研究采用光谱杠杆值与学生残差 T 检验和 Dixon 检验的方法进行异常样本的剔除。

杠杆值表示样本对模型的影响程度, 样本的杠杆值与相对应的可溶性总糖含量用学生残差 T 检验准则来表征, 如果样本的光谱杠杆值和学生残差都超过了阈值, 则表示该样本为异常样本, 需要剔除。经计算得本研究的光谱杠杆值的平均值为 0.07, 杠杆值的阈值为它的 2 倍, 因此设置为 0.14。平均误差绝对值的平均值为 0.82, 学生残差的阈值为它的 3 倍, 因此设置为 2.46。由图 2 可知, 样本 97 光谱值正常而化学值异常, 样本 21、样本 45 化学值正常而光谱值异常, 并未发现两者都为异常的样本。

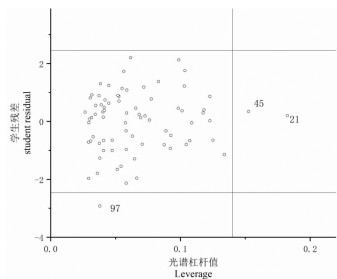


图2 样本光谱杠杆值分布图

Fig. 2 Sample spectrum leverage value distribution

将原始光谱信息通过主成分分析,减少其内部变量的含量($k < n$),用主成分分析得到的 k 个新变量来计算实验样品光谱的马氏距离。样品光谱与样品集平均光谱之间的距离即为马氏距离,将得到的马氏距离通过 Dixon 检验法进行异常样品的剔除。将样本的马氏距离按照从低往高的顺序排列,图3显示样本21为异常样本,需要将其从建模样本中剔

表3 校正集和验证集样品含量分布

Table 3 Sample content distribution of calibration set and validation set

项目 Project	数量 Number of sample	最大值 Maximum (%)	最小值 Minimum (%)	平均值 Mean (%)
校正集 Calibration set	75	12.02	5.69	8.92
验证集 Validation set	37	10.58	7.53	8.87

2.3.3 光谱预处理方法的选择

由于检测器检测的光谱信息除了待测样品外,还会受到各种因素的干扰,影响所建模型的效果,因此要针对光谱的特性进行恰当的处理,降低其他干扰因素的影响。测定固体粉末时,由于粉末的颗粒和质地不均,光程不稳定,因此一般选择多元信号修正(multiplicative signal correction, MSC)和标准正则变换(standard normal variate, SNV)。在本研究中,还将比较不同的预处理方法:原始光谱(spectrum)、一阶导数光谱(First Derivative, FD)、二阶导数(second derivative, SD)、SG平滑法(savitzky-golay)、ND平滑法(norris-derivative),其中,一阶导数光谱能显示肩峰和吸收峰,二阶导数光谱可以找出两者的准确位置。在近红外光谱测定过程中,经常出现光谱飘移,通过导数处理不仅可以消除基线偏移,还可以放大和分离重叠信息。

以 R , RESEC, RESEP 为评判模型的标准,比较不同的光谱预处理方法,其中, R 越接近 1,相关性越好; RMSEC、RMSEP 越接近 0,模型准确度越高。

除,因此本研究最终选择 112 个样品作为建模样本。

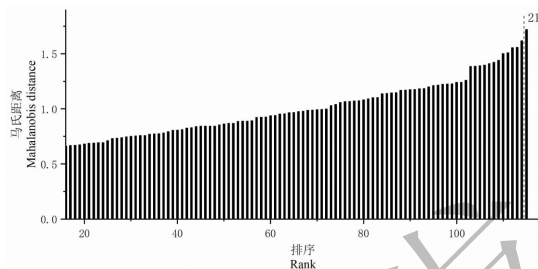


图3 样本马氏距离分布

Fig. 3 Samples Mahalanobis distance distribution

2.3.2 校正集和验证集的选择

从 112 份白茶样品中随机选取校正集和验证集,至少选择全部样品的 2/3 作为模型的校正集。在本研究中,选择其中 75 个样品为校正集,剩余 37 个样品为验证集。保证验证集的波动范围在校正集当中,校正集和验证集的可溶性糖总量含量分布见表 3。

最终得到光谱经过 SNV + SD + SG 处理后建模效果最好,相关系数、校正均方差、验证均方差接近最优值,不同预处理的结果见表 4。

2.4 模型的建立

通过 TQAnalyst 8.0 中偏最小二乘法建立模型,选取 75 份白茶样品作为校正集,37 份白茶样品作为验证集。当校正集的内部交叉验证均方差(RMSECV)最小时,所选主成分数最佳。经过对比分析,当主成分数为 4 时, RMSECV 达到最小值。因此本研究最终选择了 $9\ 000 \sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 作为建模波段, SNV + SD + SG 作为光谱的预处理方法,主成分数为 4 建立白茶可溶性糖总量定量分析模型。

结果表明所建模型的 $R = 0.963\ 9$, RMSEC = 0.363, RMSEP = 0.349, 白茶中可溶性糖总量近红外光谱模型预测值与蒽酮比色法测定的真实值的相关图见图 4,偏差图为图 5。从图 4 中可以看出白茶中近红外光谱模型预测值与真实值接近,具有较好的线性关系。从图 5 中可看出校正样本集与预测样本集的 NIRS 测定值与蒽酮比色法测定值测定的偏

表 4 不同预处理方法对定量模型性能的影响

Table 4 The effect of different pretreatment methods on the performance of the quantitative model

光谱预处理方法 Pretreatment method	相关系数 R	校正均方根差 RESEC	验证均方根差 RESEP
NONE	0.574 8	1.110	0.674
MSC	0.416 8	1.240	0.570
SNV	0.415 0	1.240	0.568
MSC + FD + SG	0.499 0	1.180	0.637
MSC + FD + ND	0.455 5	1.210	0.627
MSC + SD + SG	0.963 8	0.363	0.349
MSC + SD + ND	0.345 7	1.280	0.561
SNV + FD + SG	0.499 7	1.180	0.639
SNV + FD + ND	0.456 1	1.210	0.628
SNV + SD + SG	0.963 9	0.363	0.349
SNV + SD + ND	0.345 9	1.280	0.561

差分布较均匀,预测值与参考值较接近。结果表明模型能较为准确的测定白茶可溶性糖总量,该方法对可溶性糖总量的快速测定是可行的。

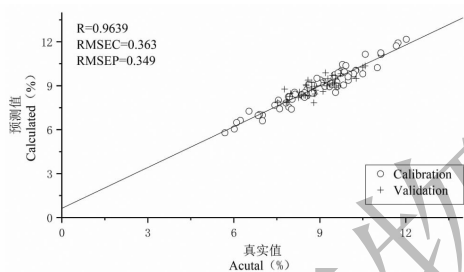


图 4 白茶可溶性糖总量的 NIR 预测值与参考值的相关图

Fig. 4 Correlation plot of NIR predicted values and reference values of total water-soluble sugars in white tea

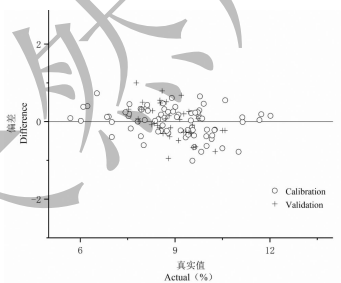


图 5 白茶可溶性糖总量的 NIR 预测值与参考值的偏差图

Fig. 5 Deviation plot of NIR predicted values and reference values of total water-soluble sugars in white tea

2.5 模型的验证

对验证集的茶样进行近红外光谱扫描,并导入所建立的白茶可溶性糖总量定量模型中,将模型预测值与通过蒽酮比色法测出的真实值进行对比

分析,结果见表 5,得出结果的平均相对误差为 3.11%,建模效果较好,具有较高的可行性。

为了进一步验证模型的可靠性,对模型进行配对样本 T 检验,配对样本 T 检验指对同一批茶样进行不同处理方式,以此来判别两种方法结果是否相同。结果见表 6,设置置信水平为 95%, $P_{\text{双尾}} = 0.687 > 0.05$ 表明蒽酮比色法测定的化学值与近红外光谱所测定的预测值差异不显著,两种方法无明显差异,近红外模型可较为准确的预测白茶可溶性糖总量。

3 结论

近红外光谱技术具有快速、无损、操作简便等优点,大大提高了检测的效率与操作的安全性,具有广阔的应用前景。可溶性糖作为茶叶中一种重要的滋味成分,影响着白茶的滋味和香气。相比于其他茶类,白茶的可溶性糖含量最高,对可溶性糖含量的快速测定,越来越受到人们的关注。

本研究基于近红外光谱技术,采用偏最小二乘法,建立白茶可溶性糖总量快速测定模型,在 SNV + SD + SG 的预处理方法下,模型的 R 为 0.963 9, RMSEC 为 0.363, RMSEP 为 0.349,并对模型的预测值和化学测定真实值进行配对样本 t 检验, $P_{\text{双尾}}$ 为 0.687,结果表明所建立的模型具有良好的预测性,能够准确的对白茶中可溶性糖总量进行预测。本研究以近三年的白茶样品为主并选择不同等级和不同存储时长的白茶作为建模样本,样品来源广并且具有一定的代表性,为白茶可溶性糖总量快速测

表 5 38 份验证集样品的预测值和参考值

Table 5 NIR predicted values of 20 samples in validation set

编号 No.	真实值 Reference value	预测值 Predicted value	绝对偏差 Absolute deviation	相对误差 Relative error	平均相对误差 Average relative error (%)
4	8.52	9.07	0.55	6.06	3.11
5	8.59	9.38	0.79	8.42	
8	9.44	9.70	0.26	2.68	
13	8.77	8.77	0.00	0.00	
14	7.53	7.85	0.32	4.08	
15	8.34	8.29	0.05	0.60	
16	8.86	8.70	0.16	1.84	
17	9.27	9.00	0.27	3.00	
18	9.57	8.90	0.67	7.53	
19	8.71	8.78	0.07	0.80	
20	9.28	9.48	0.20	2.11	
23	9.73	9.81	0.08	0.82	
30	9.11	8.62	0.49	5.68	
31	7.95	8.27	0.32	3.87	
32	8.53	9.01	0.48	5.33	
34	9.44	9.16	0.28	3.06	
35	9.55	9.46	0.09	0.95	
55	8.62	8.31	0.31	3.73	
60	9.20	9.88	0.68	6.88	
63	8.81	8.96	0.15	1.67	
67	7.83	7.90	0.07	0.89	
68	8.72	9.23	0.51	5.53	
69	9.65	9.00	0.65	7.22	
70	8.26	8.18	0.08	0.98	
73	9.15	9.21	0.06	0.65	
75	8.45	8.35	0.10	1.20	
80	10.50	10.27	0.23	2.24	
81	10.58	10.35	0.23	2.22	
82	9.27	9.50	0.23	2.42	
83	9.35	9.08	0.27	2.97	
84	7.97	8.47	0.50	5.90	
85	9.51	9.21	0.30	3.26	
88	8.29	8.57	0.28	3.27	
101	7.86	7.86	0.00	0.00	
106	8.83	8.44	0.39	4.62	
108	8.50	8.34	0.16	1.92	
109	7.79	7.84	0.05	0.64	

定提供了一种新的方法。今后还将扩大样本量并优化参数完善模型,提高模型的适用性和精确度。

表6 白茶可溶性糖总量参考真值与模型预测值的 *t*-检验

Table 6 The *t*-test of real data versus predictive value by NIR of total water-soluble sugars

成分 Composition	平均值 Mean	标准差 Std. deviation	标准误差 平均值 Std. error mean	配对差值 Paired differences		<i>t</i>	自由度 df	显著性(双尾) Sig. (2-tailed)
				差值 95% 置信区间 95% confidence interval of the difference				
				下限 Lower	上限 Upper			
	-0.023 51	0.351 8	0.057 84	-0.140 81	0.093 78			

参考文献

- Liu F, Sun WJ. Research progress in quality of the white tea [J]. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2015, 10: 365-368.
- Pastoriza S, Mesías M, Cabrera C, et al. Healthy properties of green and white teas: an update [J]. *Food Funct*, 2017, 8: 8.
- Cui HC, Yu JZ, Zhou TF, et al. Research progress in main biochemical composition comparison and pharmacological efficacy of white tea [J]. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2011, 4: 405-408.
- Pérezburillo S, Giménez R, Rufiánhenares JA, et al. Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea; relationship with sensory properties. [J]. *Food Chem*, 2018, 248: 111-118.
- Cui JL. Contribution of glycosidically bound volatiles on the aroma formation of oolong Tea and black Tea [D]. Chongqing: Southwest University (西南大学), 2016.
- Zhou QQ, Sun WJ, Ye Y, et al. Study on the main biochemical components of white tea stored at different years [J]. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2014, 9: 351-354 + 359.
- Wang M, Zang ZZ, Ning JM, et al. Study on quality analysis and class rapid evaluation of tea leaf materials based on near infrared technology [J]. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2014, 22: 57-60.
- Liu HL. Research to moisture content, free form amino acids, polyphenols quality ingredients of Congou black tea by near infrared spectroscopy [J]. *Sci Tech Food Ind* (食品工业科技), 2016, 37(12): 67-70.
- Bao YD, Lyu YY, Zhu YH, et al. Identification and classification of different producing years of dried tangerine using hyperspectral technique with chemometrics Models [J]. *Spectrosc Spectral Anal* (光谱学与光谱分析), 2017, 37: 1866-1871.
- Wang SP, Gong ZM, Gao SW, et al. Identification of Enshi Yulu tea conserved years based on near infrared spectroscopy [J]. *J Huazhong Agric Univ* (华中农业大学学报), 2015, 34: 111-114.
- Yan YF, Li FQ, Liu JY, et al. Identification bletillae rhizoma and mixed pseudo-powder samples based on near-infrared spectroscopy [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2018, 30: 1219-1225.
- Wang BY, Sun WJ, Huang Y, et al. Rapid quality evaluation of Anxi tieguanyin tea based on genetic algorithm [J]. *Spectrosc Spectral Anal* (光谱学与光谱分析), 2017, 4: 1100-1104.
- Jiang H, Chen Q. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory properties of green tea (*Camellia sinensis*, L.) using fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy [J]. *Food Anal Method*, 2015, 8(4): 954-962.
- Cui HC. Study on the content determination method of green tea water-soluble polysaccharide [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (中国农业科学院), 2009.
- Yuan MY, Huang BS, Yu C, et al. A NIR qualitative and quantitative model of 8 kinds of carbonate-containing mineral Chinese medicines [J]. *China J Tradit Chin Med* (中国中药杂志), 2014, 39: 267-272.
- Sun F, Xu B, Dai SY, et al. Reliability study of real time release testing for Chinese medicine preparation based on near infrared spectroscopy [J]. *Chin J Tradit Chin Med Pharm* (中华中医药杂志), 2017(12): 5316-5321.
- Zhan H, Wu HW, Zhang D, et al. Determination of calycosin-7-glucoside and astragaloside in astragali radix with near infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spectral Anal* (光谱学与光谱分析), 2017, 37: 1391-1396.

- 18 Xia J, Lu Y, Su Y, et al. Spectral range selection method in NIR quantitative model of tobacco water-soluble sugar [J]. *Acta Tabacaria Sinica* (中国烟草学报), 2015, 21(2): 19-22.
- 19 Duan K, Ji HW, Liu J, et al. Establishment of near-infrared quantitative model for quick test of water-soluble sugar and nicotine in flue-cured tobacco in Guizhou [J]. *Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2017, 45(15): 79-82.
- 20 Liu YD, Xiao HC, Han RB, et al. Study on NIR detection non-linear model of soluble sugar in citrus leaves [J]. *Guangdong Agri Sci* (广东农业科学), 2016, 11: 43-49.
-
- (上接第 154 页)
- 5 Wang FY, Chen RY, Zhou YL, et al. Study on teratogenicity of *Chrysanthemum indicum* extract in SD rats. [J]. *Carcinogenesis, Teratogenesis & Mutagenesis* (癌变·畸变·突变), 2012, 24: 386-388.
- 6 Chen F, Liu YH, Liu YJ, et al. Extraction and analysis of the aromatic extract of guava fruit [J]. *J Wuhan Inst Technol* (武汉工程大学学报), 2010, 32(12): 13-17.
- 7 Zhang L, Zhang YF, Li CH, et al. Optimization of extraction process and volatile components analysis of jackfruit aromatic extract by response surface methodology [J]. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2018, 39: 41-48.
- 8 Zhang L, Wu YF, Zhang Z. Study on ultrasonic assisted extraction of olive extract [J]. *J Guangdong Univ Petrochem Tech* (广东石油化工学院学报), 2016, 26(6): 20-23.
- 9 Bi XD, Zhu Y, Li YC, et al. Study on extraction conditions of dried jasmine extract [J]. *J Chifeng Univ; Nat Sci Ed* (赤峰学院学报: 自科版), 2014, 30(4): 19-21.
- 10 Zhou FC, Wang YX, Li YQ, et al. Extraction of Robinia pseudoacacia flower extract by ethanol and its role in tobacco [J]. *Flavour Frag Cosme* (香料香精化妆品), 2009, 1: 23-26.
- 11 Zhao FY, Shen WF, Lin F, et al. Study on extraction technology of polyonum viscoum Buch-Hamlt extractum [J]. *Guangdong Chem* (广东化工), 2015, 42(23): 86-87.
- 12 Zheng J, He HR, Wang NL, et al. Antioxidant activity of olive leaves extracts *in vitro* and *in vivo* [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2015, 27: 1743-1747.
- 13 Wang XY, Du GR, Li H. Research progress in vitro determination of antioxidant capacity [J]. *J Food Sci and Biotech* (食品与生物技术学报), 2012, 31: 247-252.
- 14 Yang Y, Deng YH, Han QH, et al. Physiochemical properties and antioxidant activity of *Camptotheca acuminata* fruit polysaccharides [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2017, 29: 1717-1722.
- 15 Li JH, Jiang ZT, Li R, et al. Study on antioxidant activity and scavenging free radicals of Flavonoids from leaves of Radix Polygoni Multiflori [J]. *China Food Additives* (中国食品添加剂), 2012, 2: 69-74.
- 16 Sun J, Wang ZJ, Chen G, et al. *In vitro* antioxidant activity of polyphenols from olives [J]. *China Food Add* (中国食品添加剂), 2010, 3: 69-73.
- 17 Liu J. Determination of hydroxyl radicals produced by Fenton reaction by crystal violet spectrophotometry [J]. *J Wuhan Polytechnic Univ* (武汉工业学院学报), 2005, 2: 53-55.
- 18 Chen C, Hu WZ, Tian PY, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of polyphenols from banana peel and analysis of its antioxidant activity [J]. *Food Sci* (食品科学), 2014, 35(2): 12-17.
- 19 Locatelli M, Gindro R, Travaglia F, et al. Study of the DPPH scavenging activity: Development of a free software for the correct interpretation of data [J]. *Food Chem*, 2009, 114: 889-897.
- 20 Zhang L, Liang Y, Ye RQ, et al. Optimization of extraction technology of total flavonoids from Tian AI by response surface methodology [J]. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2017, 38(14): 31-37.