

不同种皮颜色花生糖含量近红外模型的构建

陈 淼, 侯名语, 崔顺立, 李 振, 穆国俊, 刘盈茹, 李秀坤, 刘立峰*

华北作物改良与调控国家重点实验室, 华北作物种质资源研究与利用教育部重点实验室,
河北省作物种质资源实验室, 河北农业大学农学院, 河北 保定 071001

摘 要 花生籽仁中的糖含量是影响食味品质的重要指标, 建立快速测定糖含量的方法可有效提高食用型花生的检测效率。样品外观颜色是影响近红外分析的重要因素之一, 按样品外观颜色分类定标(校正)更有利于提高模型的预测性能。研究选择不同糖含量的花生种质 332 个, 采用色差仪将花生种质按种皮颜色分成黑紫色、红色和粉色三大类。采用 3,5-二硝基水杨酸法、蒽酮乙酸乙酯法、蔗糖酶法分别测定籽粒中的总糖、可溶性糖及蔗糖含量。总糖含量分别在 6.42%~39.53%(黑紫色籽粒)、9.66%~39.71%(红色籽粒)和 8.52%~38.84%(粉色籽粒)之间; 可溶性糖含量分别在 2.4%~14.32%(黑紫色籽粒)、2.94%~13.75%(红色籽粒)和 2.19%~14.53%(粉色籽粒)之间; 蔗糖含量分别在 0.92%~7.53%(黑紫色籽粒)、1.05%~7.23%(红色籽粒)和 0.95%~7.99%(粉色籽粒)之间, 变异系数均在 33% 以上。采用瑞典波通 DA7250 型近红外分析仪(950~1 650 nm)采集籽粒的近红外光谱值, 选用基于全波段的偏最小二乘回归法(PLSR), 通过对比单一和复合预处理方法, 对比模型的相关系数和误差确定最佳预测模型。分别建立了黑紫色、红色、粉色花生籽仁的总糖含量、可溶性糖含量和蔗糖含量的近红外光谱定标模型, 共计 9 个模型, 预测相关系数(R_c)在 0.883~0.925 之间, 预测均方根误差(RMSEC)在 0.370~1.988 之间。对总糖含量所建立的模型中, 粉色种皮花生的预测相关系数 R_c 可达 0.925, RMSEC 为 1.705; 对可溶性糖含量所建模型中, 黑紫色种皮花生的预测相关系数 R_c 可达 0.921, RMSEC 为 0.667; 对蔗糖含量所建的模型中, 粉色种皮花生的预测相关系数 R_c 可达 0.914, RMSEC 为 0.435。并分别用 15 份种质进行外部验证, 9 个模型的预测相关系数 R_p 在 0.892~0.967 之间, 预测均方根误差 RMSEP 在 0.327~2.177 之间。本研究建立的近红外光谱模型可同步、快速地检测花生籽粒中的多种糖含量, 为高糖含量的鲜食花生育种提供了技术支持。

关键词 花生; 近红外光谱分析; 种皮颜色; 蔗糖含量; 可溶性糖含量; 总糖含量

中图分类号: S123 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)09-2896-07

引 言

花生是我国重要的经济作物, 年均总产量已达 1 500 万吨, 约占世界总产的 40%, 其中用来榨油的约占年产量的 60%, 约 30% 的花生籽仁加工成喜闻乐见的小食品或直接被人们食用^[1]。花生籽仁中的糖含量是影响食味品质的重要指标, 直接影响消费者的口感和花生的经济价值。当花生籽仁中蔗糖含量达到 6% 以上时, 口感较好。已有研究表明花生籽仁中的总糖含量、可溶性糖含量和蔗糖含量具有种质差异。李威涛^[2]等采用高效液相色谱法检测到 28 份花生品

种的蔗糖含量为 1.14%~8.38%。Hou 等^[3]测定河北花生种质 57 份, 总糖含量为 7.81%~18.01%。通过鉴定花生籽仁中各类型糖含量, 可筛选和培育到高糖含量的种质, 满足消费者的需求。

鉴定花生糖含量最常用的方法有三种, 分别为比色法、近红外光谱法和示差折光法。其中近红外光谱分析法具有高效、快速和不损伤种质等特点, 在农作物育种研究中已经得到广泛应用^[4-5]。在花生种子各成分含量鉴定上, 已建立了脂肪含量、各脂肪酸含量和蛋白质含量的近红外模型。秦利^[6]、唐月异^[7]和雷永^[8]等分别采用 72 份, 167 份及 185 份基因型为材料, 分别构建了适应于瑞典波通 DA7200 近红外

收稿日期: 2021-08-19, 修订日期: 2021-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(320720971004224), 河北省现代农业产业技术体系建设专项“河北省油料创新团队”(HBCT2018090202)资助

作者简介: 陈 淼, 1997 年生, 河北农业大学农学院硕士研究生 e-mail: 1014704151@qq.com

* 通讯作者 e-mail: lifengliucau@126.com

分析仪、Matrix-I型傅里叶变换近红外光谱仪及 Spectra Star XL 近红外光谱仪的花生籽粒蔗糖含量测定的近红外模型。花生籽仁总糖含量和可溶性糖含量鉴定的近红外模型鲜有报道。

广泛种植的栽培花生品种多为粉色种皮,但为了适应市场需求,尤其是鲜食花生市场,黑紫色、红色种皮花生因其含有丰富的花青素类抗氧化物质,更受消费者青睐。高通量筛选不同种皮颜色的高糖含量花生基因型是花生食味品质育种的重要工作。有研究表明样品外观颜色是影响近红外分析的重要因素之一,按样品外观颜色分类定标(校正)更有利于提高模型的预测性能^[9-10]。已构建的花生籽粒蔗糖含量近红外模型^[7-9]未涉及不同种皮颜色。

为更深入探索近红外光谱分析法在花生籽仁糖含量鉴定上的应用,本研究选取不同种皮颜色的332份花生样品进行了可溶性糖、蔗糖及总糖含量的测定,采用近红外仪扫描样品的光谱,构建了不同种皮颜色花生籽仁的糖含量近红外分析模型,为高效选育食用型花生种质提供技术支撑。

1 实验部分

1.1 材料

选用232份以四粒红和冀农黑3号为亲本衍生的重组自交系群体和100份美国微核心种质为试验材料。并在本实验室资源库中采用色差仪随机选取三种种皮颜色各15份品种做模型验证。所用到的种子均为2020年9月收获于河北省河北农业大学清苑试验基地。

1.2 花生种皮色度值测定

采用日本KONICA MINOLTA公司生产的CR-10 Plus色差仪测定花生种皮的色度值,每个花生基因型分别取三粒饱满,无损坏的种子测定三次,测定 L^* , a^* , b^* 值,取三次结果的平均值。色差仪从 L^* (从黑到白,0~100)、 a^* (从绿到红, $-a^* \sim +a^*$), b^* (从蓝到黄, $-b^* \sim +b^*$)3个方面分别评价果实颜色。

1.3 光谱采集

采用瑞典波通 DA7250 近红外分析仪(DA7250 Diode Array Analyzer)的Simplicity™软件进行光谱信息采集,如图1所示。光谱仪扫描波长范围为950~1650 nm,环境温度在24~25℃,样品在25℃左右恒温放置48 h以上,以减少温度对样品的影响。仪器开机预热30 min后,每个样品取均匀饱满的种子装入样品杯中,使表面平整。扫描5次,重复装样3次,获得平均光谱用于建模。

1.4 花生籽粒中的糖含量测定

参照侯名语等^[11]方法进行样品前处理,将采集光谱后的花生籽仁去种皮,称取100 mg样品用JXFSTPRP-24(上海净信实业发展有限公司)砸样机砸碎,加石油醚(沸程:60~90)脱脂三次,作为脱脂样品,进行不同糖含量的测定。所有糖含量测定分别进行三次生物学重复。

将准备的100 mg脱脂样品3份,参照Hou^[3]的3,5-二硝基水杨酸法测定花生籽粒中的总糖含量,以葡萄糖为标准品。参照王冬梅^[12]的萘酚比色法测定花生籽粒中的可溶性

糖含量,以蔗糖为标准品。采用蔗糖含量检测试剂盒G0531W(苏州格锐思生物科技有限公司)进行样品的提取及测定。



图1 DA7250 近红外分析仪

Fig. 1 DA7250 diode array analyzer

1.5 模型构建与优化

采用挪威CAMO公司的化学计量学软件The Unscrambler X10.4构建模型,将测得的糖含量化学值与采集的近红外光谱导入The Unscrambler X10.4软件,采用多元散射校正(MSC)、标准正态变量变换(SNV)、一阶导数(1st Derivative, 1st-der)、二阶导数(2nd Derivative, 2nd-der)、S-G卷积平滑、归一化处理等预处理方法减少噪声和误差对光谱的影响^[6],将预处理方法分别进行单一处理及复合处理,筛选出最佳的预处理方法。对预处理后光谱及化学值用偏最小二乘回归法(partial least squares regression, PLSR)建立定标模型。检验时,自动剔除较大剩余值的异常样品,然后再经过反复交叉验证剔除异常值,采用外部验证评价模型的稳定性。模型的评价参数主要由决定系数(R^2)和标准误差(RMSE)来衡量模型的预测精度^[6],相关系数高且标准误差小的模型稳定性好。

1.6 模型的外部验证

三种颜色种皮的花生品种(系)各随机选取15个,采用建立的近红外模型检测其糖含量,记录近红外模型的预测值和化学测定样品的各种糖含量。比较近红外模型预测值与化学值的相关性和准确性。

2 结果与讨论

2.1 不同种皮颜色花生的划分

采用CR-10 Plus色差仪测定不同花生种皮的色度值,由图2(a,b,c)所示,将332份花生样品划分成了黑紫色,红色和粉色三种不同颜色的种皮籽粒。其中,黑紫色种皮样品120份,红色种皮样品80份,粉色种皮样品132份。花生不同种皮颜色(L^* , a^* , b^*)最小值、最大值、均值以及标准差统计结果,如表1所示。从表1中可以看出,不同种皮颜色

综合色度E值的均值分别为10.64(黑紫色)、25.74(红色)和29.23(粉色)。随着色泽参数L*均值的增大,种皮的颜色越亮;随着色泽参数a*均值的增大,颜色由浅红色变为深红色;随着色泽参数b*均值的增大,颜色由低亮度黄色转变为高亮度黄色。并将三个种皮颜色的综合色差E值进行了多重比较分析,发现三个种皮颜色间均表现为差异极显著,说明采用颜色分类构建模型是有意义的。

表 1 不同种皮颜色色度值的统计分析
Table 1 Statistical analysis of chromaticity values of different seed coat colors

种皮颜色	颜色特征	最小值	最大值	均值	标准偏差 (SD)	综合色差 (E)
黑紫色	L*	4.63	15.43	9.65	2.22	10.64**
	a*	0.47	9.53	4.02	2.12	
	b*	-0.37	4.13	0.92	1.10	
红色	L*	10.97	28.87	18.86	3.30	25.74**
	a*	10.33	19.20	14.32	1.84	
	b*	6.73	13.30	9.87	1.49	
粉色	L*	15.27	33.60	22.36	4.04	29.23**
	a*	9.67	15.43	12.68	1.63	
	b*	7.10	18.80	13.63	1.91	

注: **是在0.01水平上差异极显著

Note: ** Significant difference at the 0.01 level

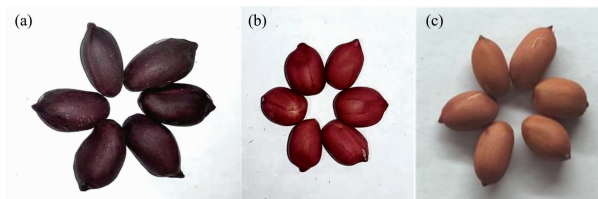


图 2 不同颜色种皮花生籽粒样品

(a): 黑紫色种皮样品; (b): 红色种皮样品; (c): 粉色种皮样品

Fig. 2 Samples of peanut seed coats with different colors

(a): Black purple peanut kernels; (b): Red peanut kernels;

(c): Pink peanut kernels

2.2 不同种皮颜色花生籽仁光谱采集

采集的黑紫色种皮样品120份花生籽仁近红外光谱如图3所示,红色种皮样品80份花生籽仁近红外光谱如图4所示,粉色种皮样品132份花生籽仁近红外光谱如图5所示,由图3—图5可见,花生样品在950~1650 nm范围内均有明显吸收峰,每个样品存在多处吸收峰,不同样品的吸收峰强度不同。表明扫描的近红外光谱可以用于花生籽粒糖含量的定量分析。

2.3 花生仁中糖含量的化学分析

采用比色法测定332份花生籽粒中的糖含量,样品的化学测定结果如表2所示,总糖含量范围在6.42%~39.71%之间,其中黑紫色籽仁差异最大,在6.42%~39.53%之间;可溶性糖含量范围在2.19%~14.53%之间,其中粉色籽仁差异最大;蔗糖含量范围在0.92%~7.99%之间,其中粉色

籽仁差异最大,在0.95%~7.99%之间,不同颜色种皮的籽粒糖含量变异系数在33.03%~44.89%之间。秦利^[6]和雷永^[8]等在建立花生蔗糖模型时其变异系数分别为19.30%和40.66%。结果表明,本试验选择花生材料的糖含量分布范围广,变异系数大,代表性好,可以进行近红外光谱定标预测。

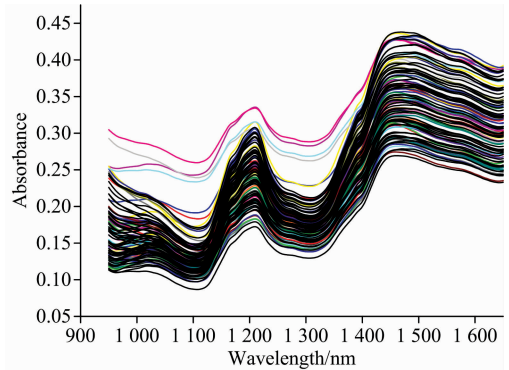


图 3 黑紫色样品的扫描光谱

Fig. 3 Scanning spectrum of black-purple samples

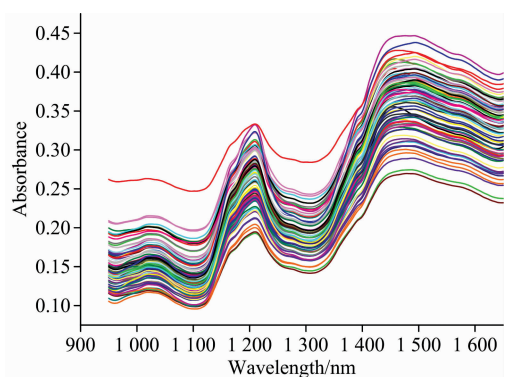


图 4 红色样品的扫描光谱

Fig. 4 Scanning spectrum of red samples

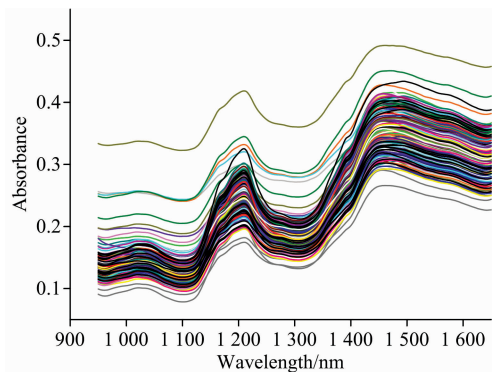


图 5 粉色样品的扫描光谱

Fig. 5 Scanning spectrum of pink samples

2.4 花生籽仁糖含量预测模型构建

2.4.1 光谱预处理方法的选择

一般常用的光谱预处理方法有多元散射校正(MSC)、标准正态变量变换(SNV)、一阶导数(1st Derivative, 1st-der)和

表2 不同种皮颜色花生籽仁糖含量的化学测定结果
Table 2 Chemical determination results of sugar content in peanut seeds with different coat color

种皮颜色	性状	最小值 /%	最大值 /%	均值 /%	标准偏差	变异系数/%
黑紫色	蔗糖含量	0.92	7.53	3.27	1.36	41.50
	可溶性糖含量	2.4	14.32	6.50	2.59	39.89
	总糖含量	6.42	39.53	20.19	7.09	35.13
红色	蔗糖含量	1.05	7.23	3.47	1.36	39.11
	可溶性糖含量	2.94	13.75	6.82	2.47	36.18
	总糖含量	9.66	39.71	19.03	6.29	33.03
粉色	蔗糖含量	0.95	7.99	3.26	1.46	44.89
	可溶性糖含量	2.19	14.53	6.39	2.48	38.75
	总糖含量	8.52	38.84	19.59	6.55	33.42

二阶导数(2nd Derivative, 2nd-der)、S-G 卷积平滑、归一化处理(Normalize)、基线校正(Baseline)等,将其按基线校正,散射校正,平滑处理,尺度与缩放等分别进行单一预处理,两个预处理和三个预处理共计120种预处理方法对光谱进行处理。根据相关系数(R^2)及标准误差(RMSE)筛选出最佳的处理方法^[13]。

本研究所建9个模型最佳光谱预处理方法如表3所示,

表3 不同种皮颜色花生籽仁糖含量光谱值的最佳预处理方法及预测模型
Table 3 Optimal pretreatment method and prediction model of spectral value of praline content of peanut seed in different seed colors

种皮颜色	性状	模型	校正集		内部验证集		外部验证集	
			R_c	RMSEC	R_v	RMSECV	R_p	RMSEP
黑紫色	蔗糖含量	Normalization+Detrend+SNV	0.910	0.370	0.851	0.504	0.917	0.350
	可溶性糖含量	2 nd -der+Detrend	0.921	0.667	0.814	1.068	0.926	0.637
	总糖含量	Detrend+Normalization+SNV	0.916	1.988	0.868	2.522	0.967	1.341
红色	蔗糖含量	1 st -der+MSC+Detrend	0.913	0.391	0.803	0.586	0.928	0.327
	可溶性糖含量	Normalization+Baseline	0.897	0.768	0.823	1.02	0.945	0.508
	总糖含量	SNV+2 nd -der+Detrend	0.909	1.853	0.832	2.575	0.893	2.177
粉色	蔗糖含量	SNV+2 nd -der+Normalization	0.914	0.435	0.820	0.663	0.899	0.518
	可溶性糖含量	Normalization+MSC	0.883	0.830	0.834	1.024	0.892	0.797
	总糖含量	2 nd -der+SNV+Detrend	0.925	1.705	0.826	2.652	0.949	1.591

所建模型经外部验证,各模型预测值与化学值的相关系数均在0.88以上(图6),黑紫色花生总糖含量预测模型的预测值与化学值相关系数达到0.967[图6(c)]。并计算了每个模型预测值与化学值之间的偏差,偏差范围分别是-0.75%~0.41%(黑紫色蔗糖),-1.24%~0.85%(黑紫色可溶性糖),-3.32%~1.79%(黑紫色总糖),-0.5%~0.52%(红色蔗糖),-1.54%~0.44%(红色可溶性糖),-3.52%~3.18%(红色总糖),-0.79%~0.78%(粉色蔗糖),-3.34%~0.57%(粉色可溶性糖),-2.22%~2.43%(粉色总糖)。9个模型预测值与化学值之间的偏差在-3.52%~3.18%之间,相关系数 R_p 在0.892~0.967之间,结果表明本研究构建的模型预测结果准确,可用于不同种皮颜色花生总糖、可溶性糖和蔗糖含量的测定。

均采用了两种以上的预处理方法,以保障模型的适用性。用得比较多的处理方法是 Detrend, Normalization 和 SNV 三种处理方法。其中,黑紫色花生总糖含量、可溶性糖含量和蔗糖含量的模型、红色花生蔗糖含量和总糖含量模型、粉色花生总糖含量模型等6个模型用到了 Detrend 方法;黑紫色花生总糖含量和蔗糖含量模型、红色花生可溶性糖含量模型、粉色花生可溶性糖含量和蔗糖含量模型等5个模型用到了 Normalization 方法;黑紫色花生总糖含量和蔗糖含量模型、红色花生总糖含量模型、粉色花生总糖含量和蔗糖含量模型等5个模型用到了 SNV 处理方法。

2.4.2 花生籽仁糖含量定标模型的构建与验证

对不同颜色种皮花生中总糖含量、蔗糖含量和可溶性糖含量的化学值和采集的近红外光谱数据分别进行拟合光谱处理,采用偏最小二乘回归法(PLSR)的化学计量学方法建立定标模型,反复采用内部交叉验证剔除异常值,通过模型的决定系数(R^2)和定标标准差(RMSE)衡量定标模型,筛选最佳模型。对没有进行定标模型建立的三个颜色各15份品种分别进行近红外分析和化学方法测定,作为外部验证集,进行模型预测。样品的校正模型的相关系数分别如表3和图6(a-i, a1-i1)所示,决定系数均大于0.88,最大的是粉色种皮总糖含量的模型,相关系数 R_c 可达0.925,所建模型可以进行有效预测。

近年来,近红外技术在品质筛选中得到了广泛的应用^[4-5]。与之前秦利^[6]、唐月异^[7]和雷永^[8]等建立的花生蔗糖含量的预测模型相比较,本研究构建了总糖含量、可溶性糖含量和蔗糖含量的近红外测定模型,可更系统地综合评价花生籽仁的口感食用品质。且采用色差仪将花生种质划分为粉色、红色和黑紫色种皮花生,更有利于特色食用性花生品种的培育。本研究采用 Perten 公司生产的 DA7250 近红外光谱仪建立糖含量的预测模型,分级清楚,模型的适用性广泛。

3 结 论

基于色差仪对种皮颜色分级的基础上构建了黑色、红色、

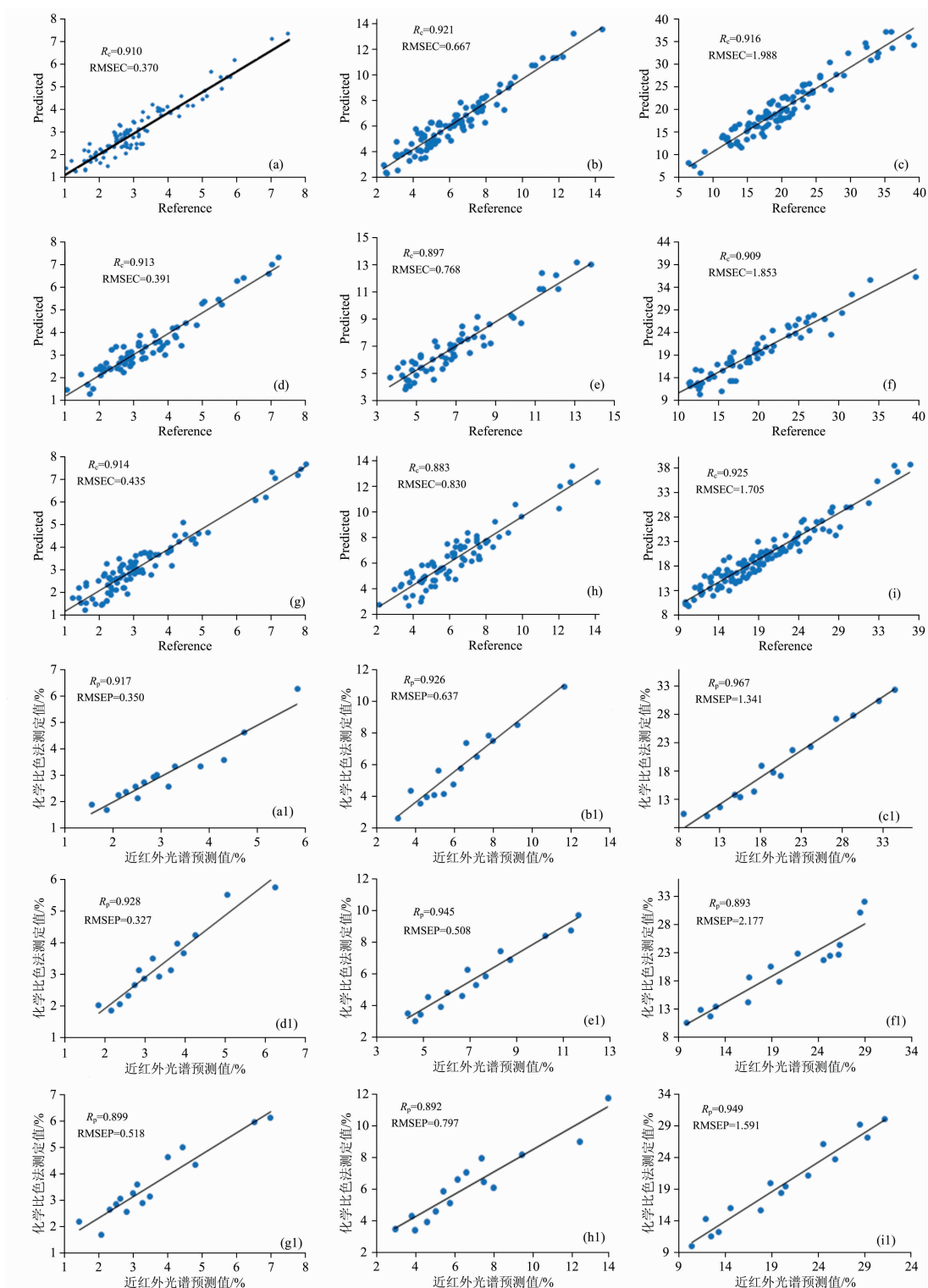


图 6 不同种皮颜色花生籽仁糖含量的校正模型及预测模型

(A), (a): 黑紫色种皮, 蔗糖含量; (B), (b): 黑紫色种皮, 可溶性糖含量; (C), (c): 黑紫色种皮, 总糖含量; (D), (d): 红色种皮, 蔗糖含量; (E), (e): 红色种皮, 可溶性糖含量; (F), (f): 红色种皮, 总糖含量; (G), (g): 粉色种皮, 蔗糖含量; (H), (h): 粉色种皮, 可溶性糖含量; (I), (i): 粉色种皮, 总糖含量

Fig. 6 Correction model and prediction model of peanut seed sugar content in different seed coat colors

(A), (a): Black-purple coat, sucrose content; (B), (b): Black-purple coat, soluble sugar content; (C), (c): Black-purple coat, total sugar content; (D), (d): Red coat, sucrose content; (E), (e): Red coat, soluble sugar content; (F), (f): Red coat, total sugar content; (G), (g): Pink Color coat, sucrose content; (H), (h): Pink coat, soluble sugar content; (I), (i): Pink coat, total sugar content

粉色种皮的总糖含量、可溶性糖含量和蔗糖含量近红外光谱模型,定标模型相关系数最高达0.925。在剔除样品颜色影响因素后,所构建的模型可系统、全面地反映花生籽仁中各糖类碳水化合物的含量。

本研究所构建的蔗糖、可溶性糖、总糖模型与同款机型上已有的蛋白质、脂肪酸、油酸、亚油酸等模型可同步、快速、无损的整体评价花生基因型的品质,为高通量花生品质鉴定研究提供技术支撑。

References

- [1] QI Li, HAN Suo-yi, LIU Hua(秦 利, 韩锁义, 刘 华). *Jiangsu Agricultural Sciences*(江苏农业科学), 2015, 43(11): 4.
- [2] LI Wei-tao, GUO Jian-bin, YU Bo-lun, et al(李威涛, 郭建斌, 喻博伦, 等). *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2021, 47(2): 186.
- [3] Hou Mingyu, Mu Guojun, Zhang Yongjiang, et al. *Crop Breeding & Applied Biotechnology*, 2017, 17(3): 221.
- [4] JIN Hua-li, CUI Bin-bin(金华丽, 崔彬彬). *Cereals & Oils*(粮食与油脂), 2014, 27(9): 49.
- [5] QU Yi-wei, ZHANG He, HAN Xiao, et al(曲艺伟, 张 鹤, 韩 笑, 等). *Molecular Plant Breeding*(分子植物育种), 2019, 17(2): 568.
- [6] QIN Li, LIU Hua, DU Pei, et al(秦 利, 刘 华, 杜 培, 等). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*(中国油料作物学报), 2016, 38(5): 666.
- [7] TANG Yue-yi, WANG Xiu-zhen, LIU Ting, et al(唐月异, 王秀贞, 刘 婷, 等). *Shandong Agricultural Sciences*(山东农业科学), 2018, 50(6): 159.
- [8] LEI Yong, WANG Zhi-hui, HUAI Dong-xin, et al(雷 永, 王志慧, 淮东欣, 等). *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2021, 47(2): 332.
- [9] YAO Xin-miao, LU Shu-wen, XIE Tie-min, et al(姚鑫淼, 卢淑雯, 解铁民, 等). *Journal of Maize Sciences*(玉米科学), 2013, 21(4): 153.
- [10] LI Yong, WEI Yi-min, WANG Feng(李 勇, 魏益民, 王 锋). *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*(核农学报), 2005, 19(3): 236.
- [11] HOU Ming-yu, CUI Shun-li, MU Guo-jun, et al(侯名语, 崔顺立, 穆国俊, 等). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报), 2017, 32(3): 155.
- [12] WANG Dong-mei, LÜ Shu-xia, WANG Jin-sheng(王冬梅, 吕淑霞, 王金胜). *Biochemistry Experiment Guide*(生物化学实验指导). Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 2009. 92.
- [13] YU Mei, LI Shang-ke, YANG Fei, et al(余 梅, 李尚科, 杨 菲, 等). *Journal of Instrumental Analysis*(分析测试学报), 2021, 40(1): 65.

Construction of Near-Infrared Model of Peanut Sugar Content in Different Seed Coat Colors

CHEN Miao, HOU Ming-yu, CUI Shun-li, LI Zhen, MU Guo-jun, LIU Ying-ru, LI Xiu-kun, LIU Li-feng*

State Key Laboratory of North China Crop Improvement and Regulation, Key Laboratory for Crop Germplasm Resources Research and Utilization in North China, Ministry of Education, Key Laboratory for Crop Germplasm Resources in Hebei Province, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China

Abstract The sugar content of peanut seeds is an important indicator that affects the quality of eating. Establishing a method for rapidly determining sugar content can effectively improve the detection efficiency of edible peanuts. The appearance color of the sample is one of the important factors that affect the near-infrared analysis. Classification and correction according to the appearance color of the sample are more conducive to improving the model's predictive performance. Therefore in this study, 332 peanut germplasms with different sugar content were selected, and the peanut germplasms were divided into three categories: black-purple, red, and pink, according to the seed coat color using a colorimeter. The 3,5-dinitrosalicylic acid, anthrone colorimetric, and sucrose enzymatic methods were used to determine the total sugar, soluble, and sucrose content in seeds, respectively. The total sugar content was 6.42%~39.53% (blackpurple peanuts), 9.66%~39.71% (red peanuts), and 8.52~38.84 (pink peanuts). The soluble sugar content was 2.4%~14.32% (blackpurple peanuts), 2.94%~13.75% (red peanuts), 2.19%~14.53% (pink peanuts), and the sucrose content was 0.92%~7.53% (blackpurple peanuts), 1.05%~7.23% (red peanuts), 0.95%~7.99% (pink peanuts), the coefficient of variation was above 33%. The Perten DA7250 near-infrared analyzer (950~1 650 nm) was used to collect the near-infrared spectrum values of the seeds. The total 9 NIR spectroscopy calibration models about the total sugar content, soluble sugar content, and sucrose content of blackpurple, red, and pink peanut seeds were established respectively through the Partial Least Square Regression (PLSR) method based on the whole band, and the single or compound pretreatment methods, and comparing the correlation coefficient and error of the models. The correlation coefficient of correction (R_c) was 0.883~0.925, and the root means standard error of calibration (RMSEC) was 0.370~1.988. In the model of total sugar content, the R_c of pink seed coat peanuts was 0.925, and the RMSEC was 1.705. In the model of soluble sugar content, the R_c of blackpurple seed coat peanuts was 0.921, and the RMSEC was 0.667. In the model of sucrose content, the R_c of blackpurple seed coat peanuts was 0.914, and the RMSEC was 0.435. External verification was carried out using 15 germplasms. The correlation coefficient of prediction (R_p) of the 9 models was 0.892~0.967, and the root means standard error of prediction (RMSEP) was 0.327~2.177. In this study, near-infrared models could predict the content of several sugars in peanut seeds simultaneously and rapidly, and provide technical support for edible peanut breeding of high sugar content.

Keywords Peanut; Near-infrared spectroscopy analysis; Seed coat color; Sucrose content; Soluble sugar content; Total sugar content

(Received Aug. 19, 2021; accepted Dec. 24, 2021)

* Corresponding author