基于微型近红外仪检测特色乳中掺假荷斯坦牛乳

药舒乐[1, 2]，胡钰峰[1, 2]，宋晓东[2]，郑 楠[1, 2]，王加启[1, 2]，赵圣国[1, 2*]

1 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，畜禽营养与饲养全国重点实验室，北京 100193
2 国家市场监督管理总局重点实验室（乳品质量数智监控技术），北京 100193

摘 要：[目的]本研究旨在探索利用微型近红外光谱技术检测特色乳中掺假荷斯坦牛乳的可行性。[方法]通过微型透射型和反射型近红外光谱仪获取了骆驼乳、牦牛乳、水牛乳、羊乳及其掺假荷斯坦牛乳样品的光谱数据，并采用偏最小二乘回归、支持向量机和线性判别分析分别建立了定量和定性模型。[结果]定量模型展现出良好的预测能力，透射型预测模型决定系数为0.78~0.99，均方根误差为2.31~13.68，而反射型预测模型决定系数为0.89~0.98，均方根误差为4.68~9.77。在定性分析中，支持向量机模型的分类性能优于线性判别分析模型，其中透射型光谱的支持向量机模型分类准确率为90.91%~100.00%，反射型光谱的支持向量机分类准确率为80.00%~100.00%。[结论]本研究表明，微型近红外光谱仪作为一种快速、便捷的检测工具，具有显著的应用潜力，可实现乳品掺假的现场化和实时化检测，为乳品质量控制和市场监管提供了有力的技术支持。

关键词：近红外光谱；特色乳；掺假；荷斯坦牛乳；鉴别模型

文章编号：1671–4393（2025）11–0058–08 DOI:10.12377/1671–4393.25.11.07

0 引言

乳品作为人们日常饮食中不可或缺的营养来源，其质量安全问题备受关注。近年来，中红外光谱技术因其快速、无损、高精度的特点，已成为乳品成分分析的主流方法之一。通过中红外光谱技术，可以快速检测乳品中的脂肪、蛋白质、乳糖等关键成分，为乳品工业提供了高效的品质控制手段[1, 2]。特色乳（如水牛乳、牦牛乳、山羊乳等）因具有营

基金项目：国家重点研发计划（2022YFD1600104）

作者简介：药舒乐（2004–），男，山西临汾人，在读硕士，研究方向为反刍动物营养；
胡钰峰（1995–），男，湖北宜昌人，硕士，研究方向为反刍动物营养；
宋晓东（1978–），女，吉林松原人，硕士，正高级工程师，研究方向为乳品工程；
郑 楠（1980–），女，内蒙古包头人，博士，研究员，研究方向为奶产品质量与安全风险评估；
王加启（1967–），男，安徽宿州人，博士，研究员，研究方向为奶牛营养与牛奶质量安全。
*通信作者：赵圣国（1984–），男，山东临沂人，博士，研究员，博士生导师，研究方向为反刍动物营养与牛奶品质。

中国乳业线上阅读

养全面、易消化、低致敏性等特点，市场价值较高[3]。然而，受产出量、稀有度以及市场需求的影响，特色乳制品价格较高，市场上掺假现象频发，尤其是掺入价格较低的荷斯坦牛乳[4]。这种掺假行为通常难以察觉，严重破坏了特色乳产品应有的质量和真实性。更不容忽视的是，对荷斯坦牛乳过敏的消费者，食用掺假后的特色乳制品可能会引发过敏问题，这不仅严重损害了消费者的合法权益，也极大地扰乱了正常的市场秩序[5]。

目前，检测特色乳掺假的方法主要依赖对乳中不同关键成分的检测，以及特异性物种DNA序列的鉴定。其中，包括聚合酶链式反应（Polymerase Chain Reaction，PCR）和实时荧光定量PCR等在内的核酸检测方法，可以通过检测DNA标记物来鉴别掺假乳的来源，具有高灵敏度和特异性[6~8]。而对于乳中关键成分进行检测的技术，如液相色谱技术，虽然是较为可靠的方法，但与核酸检测方法类似，这些方法需要复杂的样本前处理和专业实验室支持，难以实现现场快速检测[9]。红外光谱（包括近红外和中红外光谱）和荧光光谱等非侵入性技术，因其快速、无损的特点，在乳品掺假检测中得到了广泛应用[10~13]。通过对样品光谱特征的分析，可以识别掺假乳的成分差异。Mabood等[14, 15]利用近红外光谱分析方法在检测骆驼奶中牛奶与山羊奶的掺假程度方面取得了良好成果，决定系数（R^2）大于0.92。这些研究表明，近红外光谱技术在测定特色乳掺假方面具有较高的准确性和可靠性。

然而，传统的近红外光谱设备体积较大、成本较高，限制了其在实际应用中的普及。近年来，微型近红外光谱设备的快速发展为畜产品检测提供了新的解决方案。微型近红外光谱设备具有便携性强、成本低、操作简便等优势，能够实现现场快速检测[16]。通过结合化学计量学方法（如偏最小二乘法、主成分分析等），微型近红外光谱设备可以高效地识别乳成分特征光谱，为乳品检测提供一种实用性强的新方法。张中卫等[17]采用微型近红外光谱仪实现了对奶粉中蛋白质和脂肪快速、无损检测，成功建立了高准确度的预测模型。de Moraes-Neto等[18]使用微型近红外光谱仪并结合数据驱动的类比软独立建模方法鉴定了A2牛奶掺假至少10%的非A2牛奶。然而，仍需要研究来证实微型近红外光谱设备在特色乳掺假荷斯坦牛乳中的应用可行性。

综上所述，中红外光谱技术在乳品检测中具有重要应用，而微型近红外光谱设备的发展为特色乳掺假的快速检验提供了新的可能。本研究旨在探索使用微型近红外光谱设备检测特色乳中掺假荷斯坦牛乳的方法，以期为乳品质量检测提供一种快速、便捷的技术手段。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

骆驼乳、牦牛乳、水牛乳、羊乳以及荷斯坦牛乳的超高温瞬时杀菌（Ultra-high Temperature Instantaneous Sterilization，UHT）液态乳和乳粉，这些特色乳均经过实验室前期PCR鉴定为纯品。微型近红外光谱仪M由本实验室研制。

1.2 样品制备

1.2.1 灭菌特色乳中掺假牛乳

取UHT牛乳按不同体积百分比（0%、0.5%、1%、5%、10%、20%、30%、40%、50%和100%）分别掺入不同UHT特色乳中，获得模拟UHT特色乳中掺假UHT牛乳作为待测样品，进行近红外光谱检测。

1.2.2 特色乳乳粉中掺假牛乳粉（复原乳形式）

将各乳粉样品按1∶8比例用双蒸水配制成复原乳后，将牛乳复原乳按不同体积百分比（0%、0.5%、1%、5%、10%、20%、30%、40%、50%和100%）分别掺加到各特色乳复原乳中，获得模拟特色乳乳粉中掺假牛乳粉作为待测样品，进行近红外光谱检测。

1.2.3 特色乳乳粉中掺假牛乳粉（乳粉形式）

将牛乳粉按不同质量百分比（0%、0.5%、1%、

中国乳业线上阅读

5%、10%、20%、30%、40%、50%和100%）分别掺加到各特色乳粉中，混匀，获得模拟特色乳乳粉中掺假牛乳粉作为待测样品，进行近红外光谱检测。

1.3 样品近红外光谱采集

将制备好的待测样品于40 ℃水浴10 min，随后充分混匀，通过实验室自主研发的微型近红外光谱仪扫描样品的近红外光谱，检测波长为900~1 700 nm。

1.4 光谱建模

1.4.1 定量模型

将采集到的光谱信息导入Unscrambler X10.4软件中进行预处理，包括Savitsky-Golay平滑（SG平滑）和一阶导数。处理后的数据进行A/（SDev+B）归一化处理，采用偏最小二乘回归（Partial Least Squares Regression，PLSR）法建立预测模型。使用随机交叉法验证模型效果，决定系数（R^2）越接近于1，均方根误差（Root Mean Square Error，RMSE）越小，表示预测模型效果越好。

1.4.2 定性模型

本试验采用Unscrambler X10.4软件中支持向量机（Support Vector Machines，SVM）与线性判别分析（Linear Discriminant Analysis，LDA）进行特色乳掺假定性模型的建立，并比较不同模型的分类能力。SVM判别模型的核函数采用径向基核函数（Radial Basis Function，RBF），通过网格搜索法确定惩罚参数c和RBF核函数的参数gamma。

2 试验结果

2.1 透射型近红外定性判别模型

表1展示了透射型近红外光谱分析中不同判别方

表 1 透射型近红外不同判别方法的定性模型准确度对比

掺假类别	判别方法	不同掺假阈值模型准确度（%）						
		0.1%	0.5%	1%	5%	10%	20%	30%
UHT 骆驼乳掺假 UHT 牛乳	SVM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	LDA	39.39	40.00	44.44	50.00	57.14	66.67	80.00
UHT 牦牛乳掺假 UHT 牛乳	SVM	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	LDA	71.21	75.00	75.93	83.33	92.86	100.00	–
UHT 水牛乳掺假 UHT 牛乳	SVM	100.00	100.00	100.00	–	–	–	–
	LDA	77.27	78.33	85.19	91.67	90.48	94.44	93.33
UHT 羊乳掺假 UHT 牛乳	SVM	100.00	100.00	–	–	–	–	–
	LDA	93.94	93.33	90.74	93.75	92.86	97.22	100.00
骆驼乳粉掺假牛乳粉（液体）	SVM	90.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	–
	LDA	65.15	68.33	72.22	79.17	90.48	100.00	–
牦牛乳粉掺假牛乳粉（液体）	SVM	93.94	100.00	100.00	100.00	–	–	–
	LDA	72.73	73.33	93.33	89.58	95.24	100.00	–
水牛乳粉掺假牛乳粉（液体）	SVM	100.00	100.00	100.00	100.00	–	–	–
	LDA	72.73	73.33	77.78	77.08	80.95	94.44	100.00
羊乳粉掺假牛乳粉（液体）	SVM	100.00	100.00	100.00	100.00	–	–	–
	LDA	81.82	81.67	87.04	89.58	92.86	100.00	–

中国乳业线上阅读

法（SVM和LDA）在不同掺假阈值下的定性模型准确度对比。结果表明，无论是对于UHT特色乳掺假模型还是特色乳复原乳掺假模型，SVM判别方法均能在0.1%的掺假比例下达到90%以上的准确度。相比之下，除了UHT羊乳掺假模型外，LDA方法在其他模型低掺假比例下的准确度较低，但随着掺假比例的增加，其判别能力逐渐增强。

2.2 透射型近红外定量模型

2.2.1 灭菌特色乳掺假牛乳

表2展示了使用SG平滑和一阶导数结合的处理方法对UHT特色乳掺假UHT荷斯坦牛乳定量分析模型性能的影响。结果表明，SG平滑结合一阶导数预处理方法对不同UHT特色乳掺假定量分析模型的影响存在差异。对于UHT骆驼乳和UHT羊乳掺假模型，该方法可能导致模型的预测误差略有增加，处理前后的R^2分别由0.969 8和0.986 0下降至0.963 2和0.983 6，RMSE分别由5.109和3.420提升至5.870和3.854。然而，对于UHT牦牛乳和UHT水牛乳掺假模型，处理前后的R^2分别由0.864 1和0.779 7提升至0.877 2和0.800 6，RMSE则分别由10.82和13.68下降至10.69和13.26，说明该方法在一定程度上提高了模型的准确性。

表 2 光谱预处理方法对 UHT 液态乳掺假定量分析模型影响

项目	原始光谱		SG 平滑 + 一阶导数	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
UHT 骆驼乳掺假 UHT 牛乳	0.969 8	5.109	0.963 2	5.870
UHT 牦牛乳掺假 UHT 牛乳	0.864 1	10.82	0.877 2	10.690
UHT 水牛乳掺假 UHT 牛乳	0.779 7	13.68	0.800 6	13.260
UHT 羊乳掺假 UHT 牛乳	0.986 0	3.420	0.983 6	3.854

2.2.2 特色乳乳粉掺假牛乳粉（复原乳）

表3展示了使用SG平滑和一阶导数结合的处理方法对特色乳复原乳掺假荷斯坦牛乳复原乳定量分析模型性能的影响。与UHT掺假模型类似，该处理方法对模型性能的影响存在差异。对于骆驼乳复原乳、水牛乳复原乳和羊乳复原乳掺假模型，处理前后的R^2分别由0.993 9、0.954 5和0.987 2下降至0.974 8、0.941 9和0.977 8，RMSE分别由2.310、6.293和3.405提升至4.729、7.249和4.432，略微增加了模型的预测误差。然而，对于牦牛乳复原乳掺假模型，处理前后的R^2由0.986 7提升至0.989 9，RMSE则由3.455下降至3.005，说明该方法在一定程度上改善了此模型的预测能力。

表 3 光谱预处理方法对复原乳掺假定量分析模型影响

项目	原始光谱		SG 平滑 + 一阶导数	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
骆驼乳粉掺假牛乳粉	0.993 9	2.310	0.974 8	4.729
牦牛乳粉掺假牛乳粉	0.986 7	3.455	0.989 9	3.005
水牛乳粉掺假牛乳粉	0.954 5	6.293	0.941 9	7.249
羊乳粉掺假牛乳粉	0.987 2	3.405	0.977 8	4.432

2.3 反射型近红外定性判别模型

表4展示了反射型近红外光谱分析中不同判别方法（SVM和LDA）在不同掺假阈值下的定性模型准确度对比。研究结果表明，SVM方法在骆驼乳粉和羊乳粉掺假模型中表现出较高的准确度，在0.1%的掺假比例下也能达到超过90%的准确度。而在牦牛乳粉和水牛乳粉掺假模型中，随着掺假比例的增加，其准确度略有下降，但都能达到80%以上。与此不同的是，LDA方法在骆驼乳粉掺假模型中表现尚可，在各掺假比例均能达到80%以上的准确率。但其在另外几种掺假模型中表现一般，且准确率随着掺假比例上升呈不规律波动变化。

2.4 反射型近红外定量模型

2.4.1 特色乳乳粉掺假牛乳粉（乳粉形式）

表5展示了使用SG平滑和一阶导数结合的处理方

中国乳业线上阅读

表 4 反射型近红外不同判别方法的定性模型准确度对比

掺假类别	判别方法	不同掺假阈值模型准确度（%）						
		0.1%	0.5%	1%	5%	10%	20%	30%
骆驼乳粉掺假牛乳粉（固体）	SVM	95.45	96.67	96.30	97.92	95.24	97.22	100.00
	LDA	89.39	86.67	83.33	87.50	88.10	86.11	86.67
牦牛乳粉掺假牛乳粉（固体）	SVM	90.91	90.00	88.89	87.50	85.71	83.33	80.00
	LDA	51.52	53.33	62.96	62.50	61.90	63.89	66.67
水牛乳粉掺假牛乳粉（固体）	SVM	93.94	93.33	88.89	91.67	90.48	83.33	80.00
	LDA	77.27	78.33	75.93	72.92	73.81	72.22	70.00
羊乳粉掺假牛乳粉（固体）	SVM	98.48	98.33	98.15	100.00	100.00	100.00	100.00
	LDA	60.61	60.00	62.96	64.58	66.67	77.78	76.67

法对特色乳乳粉掺假荷斯坦牛乳乳粉定量分析模型性能的影响。与前两种定量模型不同，此类模型的建立是基于反射型近红外仪。结果表明，对于骆驼乳粉、牦牛乳粉、水牛乳粉和羊乳粉掺假模型，处理前后的R^2均有一定提升，分别由0.958 5、0.958 3、0.967 1和0.893 0提高至0.971 1、0.967 6、0.975 5和0.924 0。相应地，模型的RMSE都表现为下降趋势，分别由6.060、6.241、5.532和9.764下降至5.181、5.227、4.683和8.305，说明该处理方法能有效提高此类模型的预测能力。

表 5 光谱预处理方法对固体乳粉掺假定量分析模型影响

项目	原始光谱		SG 平滑 + 一阶导数	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
骆驼乳粉掺假牛乳粉	0.958 5	6.060	0.971 1	5.181
牦牛乳粉掺假牛乳粉	0.958 3	6.241	0.967 6	5.227
水牛乳粉掺假牛乳粉	0.967 1	5.532	0.975 5	4.683
羊乳粉掺假牛乳粉	0.893 0	9.765	0.924 0	8.305

3 讨论

近年来，食品安全问题备受关注，乳品作为人们日常饮食中的重要组成部分，其质量安全更是重中之重。随着乳品市场的不断发展和多样化，掺假问题逐渐凸显，给消费者健康和乳品行业声誉带来潜在威胁。在此背景下，本研究聚焦于特色乳中掺假荷斯坦牛乳的检测，利用微型透射型和反射型近红外光谱仪这一新型检测手段，旨在探索其在乳品质量控制中的应用可行性，为保障乳品市场秩序和消费者权益提供技术支持和理论依据。

近红外光谱技术以其快速、无损、便携等优势，在食品掺假检测领域展现出巨大潜力，成为众多学者研究的焦点。Basri等[19]通过微型近红外光谱仪对棕榈油中掺假猪油进行了定性与定量分析，其中定性模型的准确率超过0.95，定量模型的决定系数R^2超过0.99，均方根误差RMSE小于0.670 3。Pereira等[20]将近红外光谱技术与PLS算法结合分析了羊奶中掺假牛奶的情况，定量检测模型相关系数r值为0.995 4，RMSE为3.819 7，并且能识别羊奶中添加量低至1.015 4 g/100 g的牛奶。Liu等[21]利用微型近红外光谱仪对有机牛奶和非有机牛奶进行了分类，准确率为73%~89%。这些研究结果证实了近红外包括微型近红外光谱设备具有较高灵敏度，是一种高效、可靠的掺假检测手段，为本试验基于微型近红外光谱建立特色乳中掺假荷斯坦牛乳的方法提供了参考。本试验利用微型透射型和反射型近红外光谱仪获取了骆驼乳、牦牛乳、水牛乳、羊乳

中国乳业线上阅读

掺假荷斯坦牛乳的光谱数据，通过SG平滑和一阶导数进行降噪处理，并通过偏最小二乘回归方法建立了不同特色乳中掺假不同浓度荷斯坦牛乳的定量模型。其中透射型近红外仪的预测模型R^2值在0.779 7~0.993 9，RMSE为2.310~13.68，而反射型近红外仪的预测模型R^2值在0.893 0~0.975 5，RMSE为4.683~9.765，预测准确性良好。同时本试验还利用SVM和LDA分类方法建立了特色乳掺假不同浓度荷斯坦牛乳的定性模型，对于透射型设备，SVM模型分类准确率为90.91%~100%，而LDA模型分类准确率39.39%~100%；对于反射型设备，SVM模型分类准确率为80.00%~100%，而LDA模型分类准确率51.52%~89.39%。总体来看，SVM分类模型在两种类型光谱数据下的表现均优于LDA分类模型。本试验的研究结果表明，微型近红外光谱仪在乳品掺假检测领域具有显著的应用潜力。这一技术手段不仅克服了传统检测方法耗时、复杂且依赖实验室设备的局限性，还为乳品质量控制提供了一种便携化、现场化的解决方案。

然而，尽管本研究中的预测模型效果良好，但在实际应用中仍需进一步优化。首先，光谱数据的复杂性可能导致模型的泛化能力受到样本数量和种类的限制。尽管我们在实验中涵盖了多种特色乳和掺假比例，但实际乳品市场中可能存在的其他掺假物质或复杂基质仍需进一步研究。其次，微型近红外设备的光谱分辨率和信噪比可能对模型性能产生一定影响，尤其是在低浓度掺假检测中，可能需要进一步优化仪器参数或结合其他光谱预处理方法以提高检测灵敏度。此外，模型的长期稳定性和适应性也需要在更广泛的样本和环境条件下进行验证。

此外，本研究的模型在实际应用中表现出良好的适应性，能够为乳品质量检测提供技术支持。未来的研究可以进一步探索微型近红外光谱仪在其他乳品掺假检测中的应用，如检测乳品中掺入的其他动物乳或植物蛋白。此外，结合蛋白质组学等其他检测方法，可以进一步提高乳品掺假检测的准确性和可靠性。

4 结论

本研究利用微型透射型和反射型近红外光谱仪，针对骆驼乳、牦牛乳、水牛乳及羊乳掺假荷斯坦牛乳的情况展开了系统分析，并采用偏最小二乘回归、支持向量机以及线性判别分析分别建立了定量与定性模型。研究结果表明，定量模型具有良好的预测能力，而定性模型中SVM的分类性能优于LDA，这证明微型近红外光谱仪是一种快速、便捷且有效的乳品掺假检测工具，克服了传统检测方法的诸多局限，有望在乳品质量控制领域实现现场化、实时化的掺假检测，为保障乳品市场秩序和消费者健康权益提供了有力的技术支持。

参考文献

[1] Mcparland S，Banos G，Wall E，et al. The use of mid-infrared spectrometry to predict body energy status of Holstein cows1[J]. Journal of Dairy Science，2011，94（7）：3651-3661.

[2] Mcparland S，Lewis E，Kennedy E，et al. Mid-infrared spectrometry of milk as a predictor of energy intake and efficiency in lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science，2014，97（9）：5863-5871.

[3] Zhang J，Wei L，Miao J，et al. Authenticity identification of animal species in characteristic milk by integration of shotgun proteomics and scheduled multiple reaction monitoring（MRM） based on tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry，2024，436：137736.

[4] Windarsih A，Arifah M F，Suratno，et al. The Application of untargeted metabolomics using UHPLC-HRMS and chemometrics for authentication of horse milk adulterated with cow milk[J]. Food Analytical Methods，2023，16（2）：401-412.

[5] Bansal S，Apoorva S，Manisha M，et al. Food adulteration：Sources，health risks，and detection methods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition，2017，57（6）：1174-1189.

[6] Shabani H，Mehdizadeh M，Mousavi S M，et al. Halal authenticity of gelatin using species-specific PCR[J]. Food Chemistry，2015，184：203-6.

[7] Agrimonti C，Pirondini A，Marmiroli M，et al. A quadruplex PCR （qxPCR） assay for adulteration in dairy products[J].

中国乳业线上阅读

Food Chemistry，2015，187：58–64.

[8] Guo L，Qian J P，Guo Y S，et al. Simultaneous identification of bovine and equine DNA in milks and dairy products inferred from triplex TaqMan real–time PCR technique[J]. Journal of Dairy Science，2018，101（8）：6776–6786.

[9] Sharma R，Rajput Y S，Poonam，et al. Estimation of sugars in milk by HPLC and its application in detection of adulteration of milk with soymilk[J]. International Journal of Dairy Technology，2009，62（4）：514–519.

[10] Chen H，Tan C，Lin Z，et al. Detection of melamine adulteration in milk by near–infrared spectroscopy and one–class partial least squares[J]. Spectrochimica Acta Part A：Molecular and Biomolecular Spectroscopy，2017，173：832–836.

[11] 金垚，杜斌，智秀娟. NIR技术快速鉴定牛奶品牌与掺假识别[J]. 食品研究与开发，2016，37（3）：178–181.

[12] Santos P M，Pereira–Filho E R，Rodriguez–Saona L E. Rapid detection and quantification of milk adulteration using infrared microspectroscopy and chemometrics analysis[J]. Food Chemistry，2013，138（1）：19–24.

[13] Durakli Velioglu S，Ercioglu E，Boyaci I H. Rapid discrimination between buffalo and cow milk and detection of adulteration of buffalo milk with cow milk using synchronous fluorescence spectroscopy in combination with multivariate methods[J]. Journal Dairy Research，2017，84（2）：214–219.

[14] Mabood F，Jabeen F，Hussain J，et al. FT–NIRS coupled with chemometric methods as a rapid alternative tool for the detection & quantification of cow milk adulteration in camel milk samples[J]. Vibrational Spectroscopy，2017，92：245–250.

[15] Mabood F，Jabeen F，Ahmed M，et al. Development of new NIR–spectroscopy method combined with multivariate analysis for detection of adulteration in camel milk with goat milk[J]. Food Chemistry，2017，221：746–750.

[16] 段宇飞，王巧华，马美湖，等. 基于LLE–SVR的鸡蛋新鲜度可见/近红外光谱无损检测方法[J]. 光谱学与光谱分析，2016，36（4）：981–985.

[17] 张中卫，温志渝，曾甜玲，等. 微型近红外光纤光谱仪用于奶粉中蛋白质脂肪的定量检测研究[J]. 光谱学与光谱分析，2013，33（7）：1796–1800.

[18] De Moraes–Neto V F，Costa–Santos A C，Pallone J a L. Portable near–infrared spectrometer in tandem with chemometrics as an option for the authenticating commercial A2 bovine milk[J]. Food Analytical Methods，2025（18）：1099–1018.

[19] Basri K N，Hussain M N，Bakar J，et al. Classification and quantification of palm oil adulteration via portable NIR spectroscopy[J]. Spectrochimica Acta Part A：Molecular and Biomolecular Spectroscopy，2017，173：335–342.

[20] Pereira E V D S，Fernandes D D D S，De Ara ú jo M C U，et al. Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms[J]. LWT–Food Science and Technology，2020，127：109427.

[21] Liu N，Parra H A，Pustjens A，et al. Evaluation of portable near–infrared spectroscopy for organic milk authentication[J]. Talanta，2018，184：128–135.

Detection of Holstein Milk Adulteration in Specialty Milk Using a Miniaturized Near–infrared Spectrometer

YAO shule[1，2]，HU Yufeng[1，2]，SONG Xiaodong[2]，ZHENG Nan[1，2]，WANG Jiaqi[1，2]，ZHAO Shengguo[1，2*]

[1]State Key Laboratory of Animal Nutrition and Feeding，Institute of Animal Sciences，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing 100193

[2]Key Laboratory of Dairy Quality Digital Intelligence Monitoring Technology，State Administration for Market Regulation，Beijing 100193

Abstract：[Objective]This study explored using miniaturized near-infrared （NIR） spectroscopy to detect

中国乳业线上阅读

Holstein milk adulteration in specialty milks. [Method]Spectral data of camel，yak，buffalo，goat milk，and their adulterated samples with Holstein milk were collected via miniaturized transmissive and reflective NIR spectrometers. Then，quantitative models were built with partial least squares regression，while qualitative models were developed using support vector machine （SVM） and linear discriminant analysis （LDA）. [Result] Quantitative models showed good predictive ability. Transmissive predictive models achieved a coefficient of determination（R^2） of 0.78~0.99 and a root mean square error （RMSE） of 2.31~13.68，while reflective ones got 0.89~0.98 and 4.68~9.77，respectively. In qualitative analysis，SVM outperformed LDA in classification. Transmissive-spectrum SVM reached 90.91%~100.00% accuracy，and reflective-spectrum SVM 80.00%~100.00%. [Conclusion]This study indicated that miniaturized NIR spectrometers，as fast and convenient detection tools，hold great application potential. The devices enable on-site and real-time detection of milk adulteration，offering strong technical support for dairy quality control and market regulation.

Keywords：near-infrared spectroscopy；specialty milk；adulteration；Holstein milk；discrimination models

▲上接57页

The Comparative Study of China Excellent Milk Project and International Dairy Standard Systems

BAI Xiaotong，CHEN Chunyu，CHEN Beilei，HUANG Junguang，YANG Aijun*
Guangdong Yantang Dairy Co.，Ltd.，Guangzhou Guangdong 511356

Abstract：The China Excellent Milk Project was proposed by the Milk Research Team of Institute of Animal Science of Chinese Academy of Agricultural Sciences and authorized by the Ministry of Agriculture of the PRC for implementation，which aimed at promoting the transformation of China dairy industry through the construction of a standardized industrial chain. The study systematically compared the core frameworks and standards of China Excellent Milk Project，the U.S. Grade“A”Pasteurized Milk Ordinance and dairy legislation in the European Union. By the analysis of the legislation and comparison of key parameter requirements，it was found that while the European and American systems prioritized safety，China Excellent Milk Project not only balanced both dairy nutrition and safety through raw milk grading and processes standardization，but also pioneered quantitative standards for active nutrients，promoting the upgrade of milk to freshness. The results demonstrated that the China Excellent Milk Project，characterized by its international advanced-level requirements and standardized active nutrients，has promoted the upgrading of dairy industry in China.

Keywords：excellent milk；standard；nutritions and healthy；hygiene and safety

中国乳业线上阅读