

利用高光谱数据估测水稻米粉中粗蛋白粗淀粉和直链淀粉含量

刘芸¹, 唐延林¹, 黄敬峰², 蔡绍洪¹, 楼佳¹

(¹贵州大学理学院, 贵阳 550025; ²浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029)

摘要: 【目的】粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量是水稻品质的3个重要指标。研究米粉中粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉含量的光谱快速检测方法为水稻品质遥感监测提供依据。【方法】通过田间小区试验, 获得了5个品种、3个供氮水平处理的米粉样品, 提取样品的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉, 测定样品的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量, 同时测定相应的高光谱数据及粗蛋白质与粗淀粉混合样品的高光谱数据, 分析它们的高光谱特征及其与样品粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量之间的相关性, 建立相关估测模型。【结果】粗蛋白质和粗淀粉、直链淀粉的光谱有明显的差异, 米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其某些高光谱参量之间存在极显著相关, 其中决定系数 R^2 约0.7, 相关估测模型的检验精度在80%以上。【结论】高光谱法可以用来估测米粉的粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉含量。

关键词: 高光谱数据; 米粉; 粗蛋白质; 粗淀粉; 直链淀粉

Contents of Crude Protein, Crude Starch and Amylase in Rice Flour by Hyperspectral Data

LIU Yun¹, TANG Yan-lin¹, HUANG Jing-feng², CAI Shao-hong¹, LOU Jia¹

(¹College of Science, Guizhou University, Guiyang 550025; ²Institute of Agricultural Remote Sensing & Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029)

Abstract: 【Objective】The contents of crude protein, crude starch and amylase are three important indices to evaluate the nutrition and taste quality of rice. To study the method for quick inspecting the contents of crude protein, crude starch and amylase of rice flour may provide a basis for monitoring rice quality by remote sensing. 【Method】The 5 varieties of rice flour sample under 3 nitrogen application levels were obtained through field testing. The crude protein, crude starch and amylase were extracted from the rice flour, and their contents were determined. The hyperspectral reflectances of samples themselves, their crude protein, crude starch, amylase and mixture with crude protein and crude starch were measured by a ASD FieldSpec Pro FR™. The hyperspectral characteristics and their correlation were analyzed. 【Result】The hyperspectral reflectances of crude protein was different from that of crude starch and amylase. The contents (%) of crude protein, crude starch and amylase in rice were very significantly correlated to their some hyperspectral parameters. The squared multiple correlation coefficients (R^2) were about 0.7. For the inspection of estimating models, the precision degree were above 80%. 【Conclusion】It is concluded that it can be possible to estimate the contents of crude protein, crude starch and amylase in rice flour by hyperspectral data.

Key words: Hyperspectral datum; Rice flour; Crude protein; Crude starch; Amylase

0 引言

【研究意义】近年来, 高光谱遥感技术的发展迅

速, 已可以在光谱维上展开, 直接对地物微弱光谱差异进行定量分析。高光谱遥感技术在植被遥感研究与应用, 特别是农作物的品质遥感监测中表现出强大优

收稿日期: 2007-10-14; 接受日期: 2008-03-24

基金项目: 国家“863”项目(2007AA10Z205)、国家自然科学基金(10664001)、贵州省自然科学基金、省长基金和贵州大学博士启动项目

作者简介: 刘芸(1966-), 女, 贵州都匀人, 副教授, 研究方向为有机结构与光谱分析。E-mail: sci.yliu@gzu.edu.cn。通讯作者唐延林(1964-), 男, 湖南祁阳人, 教授, 研究方向为光谱分析和光学遥感。Tel: 0851-3621759; E-mail: tylgzu@163.com

势^[1,2]。快速监测主要农作物的长势及品质对及时改进耕种方法稳定农业生产有重要指导作用。【前人研究进展】在 20 世纪 60~70 年代,美国农业部(USDA)的研究人员详细测定和分析了干燥和捣碎的多种植物叶片光谱,获得在 0.4~2.4 μm 光谱范围内大约有 42 处对应一定的生物化学成分的吸收特征,这为用遥感手段来估测叶片乃至植株的生化组分提供了可能^[3]。生物化学组分主要指植物体内的各种色素(如叶绿素、叶黄素、类胡萝卜素等)、各种营养成分(如 N、P、K)及纤维素、半纤维素、木质素、糖、脂肪、淀粉和蛋白质等。前人试验表明,农作物中生化组分对 0.4~2.4 μm 范围内的光谱吸收有一些比较明显的特征,其中心吸收波长分别为:水分 970、1 180、1 450 nm;叶绿素 480、660 nm;纤维素 1 730、2 100、2 300 nm;氮 760、1 640、2 100 nm;木质素 1 730、2 300 nm;淀粉 990、1 450、1 530、1 900、2 250 nm。国内外通过反射光谱法来研究生物体的化学组分已有较多报道:Card 等^[4]研究表明用叶片光谱反射率 R 的变量 $\log(1/R)$ 及 $\log(1/R)$ 的一阶、二阶导数可估测叶子的化学组分含量;Kokaly 等^[5]研究表明利用 2 054 和 2 172 nm 的光谱吸收特征来估算水稻叶片的氮含量;LaCapra 等^[6]用成像光谱仪估测水稻叶片的氮和木质素含量,发现木质素与 $\log(1/R)$ 的相关性($R^2=0.44$)要差于氮($R^2=0.74$);牛铮等^[7]采用多元逐步回归方法研究了以小麦鲜叶片为主的鲜叶中 7 种化学组分含量与其高光谱数据的统计关系,结果表明叶片的精细光谱特征能较好地反映出化学组分含量,尤其对粗蛋白、N、K 含量反映最好, R^2 均达到 0.8 以上;Fourty 等^[8]通过光谱方法来估测鲜叶中的生物化学成份;王纪华等^[9,10]、冯伟等^[11]研究反射光谱与小麦叶片生化成分及籽粒品质之间的关系;日本科学家小西教夫等^[12]对利用遥感技术来监测水稻的蛋白质和淀粉含量作了初步研究;Yoshio 等^[13]用反射光谱来监测水稻品质。Curran 等^[14]、Kokaly 等^[15]根据反射光谱数据用 3 种方法经逐步回归估测干叶片中的生化组分,结果表明估测精度依次为:总叶绿素、氮、糖、叶绿素 a、纤维素、叶绿素 b、木质素、水分、磷、蛋白质、氨基酸、淀粉。【本研究切入点】目前,国内外已广泛采用近红外光谱检测法来分析谷物、饲料的质量,但一般是基于吸收光谱,而使用反射光谱的报道较少,Wu 等^[16]、Yadav 等^[17]用近红外反射分光计(1 100~2 500 nm)来测定稻米的氨基酸、蛋白质等,Barton 等^[18]用近红外分光计(400~2 498 nm)来分析水稻的品质(表

观直链淀粉、蛋白质、灰分等),检测结果与用化学分析方法、拉曼光谱法及傅里叶变换红外吸收光谱法的结果有相同的精度。衡量稻米品质的两个重要指标是稻米的蛋白质含量与直链淀粉含量^[19],当前日本已开发出基于光谱方法的大米品质自动检测系统^[20]。ASD FieldSpec Pro FR™光谱仪的工作原理与分光计的工作原理是相同的,薛利红等^[21]分析了水稻冠层反射光谱与其籽粒品质的关系,唐延林等^[22]利用高光谱法来估测稻穗稻谷的粗蛋白质和粗淀粉含量,这表明可以用高光谱仪来检测水稻的生化组分含量。【拟解决的关键问题】本研究目的是探索用高光谱仪来估测米粉中的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量,为快速、低成本地检测稻米品质提供依据,同时也为用高光谱遥感方法进行水稻品质监测提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 稻米品种

试验选用的稻米品种为常规粳稻秀水 110、常规籼稻嘉育 293、嘉早 312、嘉早 324 和协优 9308,分别记为 S1、S2、S3、S4 和 S5。将经过 3 种供氮水平(严重缺氮、正常、严重超氮)栽种处理的水稻收割后脱粒,随机取样于 45℃ 恒温烘干、去壳得精米,然后粉碎过 200 目筛,制成米粉放入干燥箱中以供实验室测光谱用。正常栽种时 S1、S2、S3、S4、S5 的粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉的含量分别为 6.3%、80.2%、18.1%;9.6%、82.6%、24.0%;10.0%、76.1%、13.2%;9.2%、77.1%、14.6%;7.0%、80.4%和 22.5%。

1.2 光谱测定

光谱仪选用美国 ASD 公司产 FieldSpec Pro FR™ 光谱仪,波段值为 350~2 500 nm,其中,350~1 000 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 1.4 nm,光谱分辨率为 3 nm,1 000~2 500 nm 光谱采样间隔(波段宽)为 2 nm,光谱分辨率为 10 nm。测光谱时,将米粉样品置于高 2 cm、直径约 5 cm 的黑色圆盒中,装满样品。用三角架固定光谱仪探头,并使光谱仪探头垂直向下正对待测样品中部,光谱仪视场角为 8°,距样品表面距离 0.15 m(视场直径约 2.1 cm);光源用光谱仪所带的 50 W 卤化灯,距样品表面距离 0.45 m,方位角 70°(与样品表面的夹角)。每次数据采集前都进行标准白板校正,光谱采样以 10 个光谱为一采样光谱,每次记录 10 个采样光谱,然后求平均。数据分析软件为 SPSS10.0。

1.3 粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉提取与含量测定

粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉的提取按一般生化方法进行。大米粗蛋白的提取方法：将收获的秀水 110 稻谷碾磨去壳，得大米。将大米 1 kg 用清水浸泡 5 h，然后粉碎打浆，放入离心机中离心，得离心液（溶有大米蛋白质）和沉淀（主要为淀粉和纤维素）。在离心液中加入 75% 的乙醇，振荡摇晃几分钟后再放入离心机中离心，弃去离心清液得蛋白质沉淀物。将上面得到的大米蛋白质沉淀物用蒸馏水溶解，得蛋白质溶液，将溶液放入 G-50 层析仪中进行葡聚糖柱层析，收集蛋白质流出液，然后进行减压、浓溶、干燥即得大米粗蛋白质样品。大米粗淀粉的提取按照文献[23]的方法；直链淀粉的提取按文献[24]方法。用凯氏定氮法测全氮含量，根据一般大米蛋白质中含约 16.8% 氮的原理，将测得的全氮含量乘以换算因子 $K=5.95$ ，推算为粗蛋白质含量。粗淀粉的测量使用蒽酮法，直链淀粉的测量方法如下：选用色泽正常的稻谷数粒，去壳而成无胚整米，然后在瓷研钵中磨成粉末，盛于称量皿中，放入 60℃ 烘箱中 48 h，取出降至室温。按国标 GB-3523-83 测米粉含水率。称取 0.01 g 烘干的米粉放入 100 ml 容量瓶中，加 1 ml 无水乙醇湿润，再加 9 ml 1 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液，在沸水浴中糊化 15 min，冷却后用水定容，取其中 20 ml 碱分解液，加入 100 ml 石油醚，在振荡器上振荡 3 min，静止 10 min，再取下层碱分解液 5 ml 放入 100 ml 容量瓶中，加蒸馏水 50 ml、1 mol·L⁻¹ 乙酸 1 ml 和碘试剂 1 ml，

用蒸馏水定容至 100 ml，10 min 后用分光光度计测 620 nm 处的光密度。用标准直链淀粉按同样步骤作对比实验，绘制标准曲线，按下述公式计算样品的直链淀粉的含量。

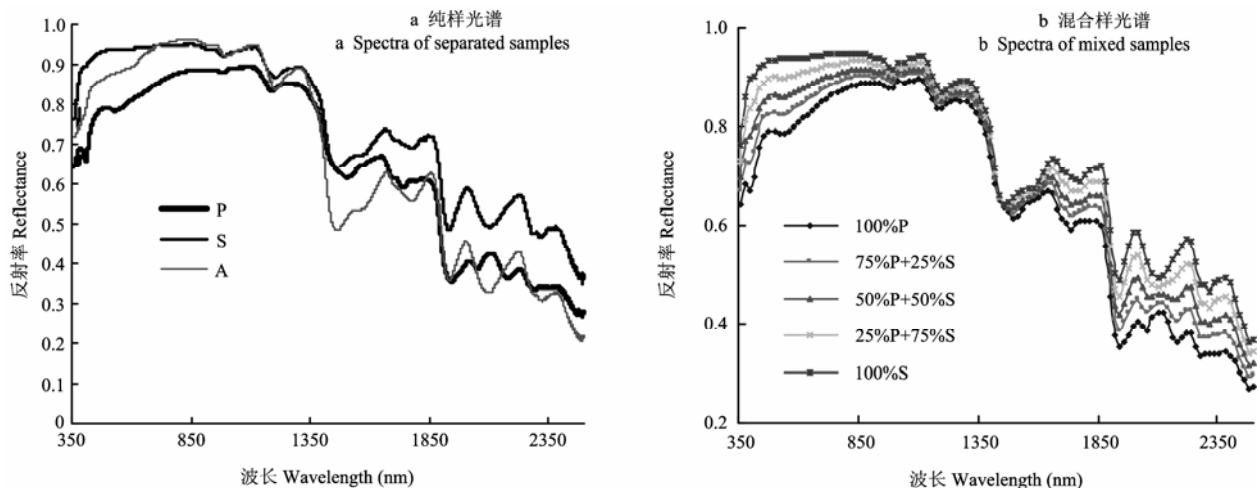
$$\text{直链淀粉含量 (\%)} = \frac{G \times 100}{0.1000 \times 5 \times (1-H)} \times 100$$

式中，G 是根据样品光密度从相应标准曲线上查得的直链淀粉含量 (g)，H 为稻米含水率。

2 结果与分析

2.1 稻米粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉光谱

图-a 是从 S1 稻米中提取的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉的光谱，从图中可知，粗蛋白质、直链淀粉和粗淀粉的光谱曲线有较大的差异，反射率数值粗淀粉明显高于粗蛋白，且其反射峰、谷的位置、数量和反射谷的相对深度在 1 200 nm 以上区域都有明显不同，直链淀粉和粗淀粉的反射光谱形状基本相同。这是因为，按物理化学原理，在 350~2 400 nm 范围内影响蛋白质反射光谱曲线形状的主要吸收因子是 O-H、C-H、N-H、N=H 键的振动、弯曲和变形，而影响淀粉和直链淀粉反射光谱曲线形状的主要吸收因子都是它们中 O-H、C-O、C-H、CH₂ 键的振动、弯曲和变形。所以图中蛋白质的反射光谱曲线在形状、吸收峰位置和数量上同淀粉的反射光谱曲线都有明显不同，主要表现在：蛋白质在 410、2 060、2 180 附近有



图中 P、S、A 分别表示粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉
P, S and A stand for crude protein, crude starch and amylose, respectively

图 稻米粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉光谱

Fig. Spectra of rice crude protein, crude starch and amylose

3 个小吸收峰, 而淀粉没有; 两者主要反射峰、谷位置相差 10 nm 以上。

图-b 从秀水 110 糙米中提取的蛋白质和粗淀粉按不同比例(质量比)混合后的反射光谱。当混合物中粗淀粉含量超过 50%时, 混合物光谱中蛋白质在 410、2 060、2 180 nm 附近的 3 个小吸收峰已不再明显。混合物反射光谱的峰、谷位置随蛋白质、粗淀粉的混合比例不同而出现“红移”和“蓝移”, 理论上, 通过对光谱反射率数值和曲线形状特征提取(求导、计算反射谷的宽度、面积和光谱吸收指数 SAI、“红移”和“蓝移”大小等)^[25], 可以用来估测混合样品中粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉的含量。

2.2 米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与高光谱的相关性

以不同比例蛋白质和粗淀粉的混合物光谱为例, 分析它们的光谱曲线在 2 100 nm 附近(2 020~2 235 nm)的吸收面积 S(光谱曲线与 2 020 nm 和 2 235 nm

之间非基准吸收线所包围的面积)与蛋白质或粗淀粉相对含量的相关性, 发现蛋白质相对含量与面积 S 之间极显著负相关、粗淀粉相对含量与面积 S 之间极显著正相关, 决定系数 R^2 在 0.997 以上。

分析发现, 米粉的粗蛋白质含量与米粉光谱反射率在紫光到橙光范围(380~650 nm)内达到了负显著相关水平, 在 860 nm 以上红外区域也达到了显著相关水平; 粗淀粉和直链淀粉含量与米粉光谱在蓝紫光范围达到了正极显著相关水平、而在短波红外范围也达到了正显著相关水平。

利用原始光谱反射率、一阶导数光谱来构建植被指数 DVI_{ij} 、 RVI_{ij} 、 $NDVI_{ij}$, 另外分别选用红边参数 λ_r 、 $D\lambda_r$ 、 S_r , 绿峰参数 λ_g 、 R_g 、 S_g , 蓝边参数 λ_b 、 $D\lambda_b$ 、 S_b 和黄边参数 λ_y 、 $D\lambda_y$ 、 S_y , 分别分析米粉的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其原始光谱 R_i 、 $\log(1/R_i)$ 、 $D\lambda_i$ 、 $D\log(1/R_i)$ 及上述各高光谱变量的相关性, 得相关系数较大的光谱变量(表 1)。

表 1 米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其高光谱变量的相关系数 (n=60)

Table 1 Correlation coefficients between the contents of crude protein, crude starch, amylose of rice flour and their spectra

光谱变量 Spectral variables	粗蛋白质含量 Content of crude protein (%)	粗淀粉含量 Content of crude starch (%)	直链淀粉含量 Content of amylose (%)
R_{363}	-0.157	0.768**	0.755**
$D\lambda_{1199}$	0.848**	-0.102	-0.134
$D\lambda_{537}$	0.339**	0.794**	-0.770**
$D\log(1/R_{463})$	-0.379**	0.758**	0.779**
$D\log(1/R_{1199})$	-0.850**	0.026	0.048
R_{362}/R_{914}	-0.264*	0.798**	0.786**
R_{987}/R_{553}	0.840*	-0.203	-0.192
$D\lambda_{793}/D\lambda_{367}$	0.853*	0.185	0.207
$D\lambda_{915}/D\lambda_{381}$	-0.277*	0.803**	0.794**

*, **分别表示通过 0.05、0.01 显著性检验。下同

*, ** stand for significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively. The same as below

从表 1 可知, 米粉中粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其光谱变量之间存在极显著相关性, 因此, 根据这些光谱变量, 可以从米粉光谱来估测其粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量。估测米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量时, 用导数光谱的估测效果要略好于原始光谱。根据表 1 对米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其高光谱变量的相关性分析可知, 可以用米粉的某些高光谱变量来估测其粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量, 估算回归方程如表 2 示。

以另外一组试验数据为检验样本, 对米粉的粗蛋

白质、粗淀粉和直链淀粉含量的估测模型(表 2)进行检验和估测精度分析, 结果如表 3 示。

从表 2、表 3 可知, 从米粉光谱估测其粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量时, 一般说来, 一阶导数光谱变量模型(有较高的拟合 R^2 、检测 R^2 和检测精度)的估测效果较好, 多元逐步回归模型的估测效果要比单变量模型的估测效果好; 估测粗淀粉、直链淀粉含量的效果要好于估测粗蛋白质含量, 因为一般粳、籼稻中粗淀粉、直链淀粉含量要大于粗蛋白质含量。

表 2 米粉粗蛋白质, 直链淀粉含量的估算回归方程 (n=60)

Table 2 Regression equations of estimating the contents (%) of crude protein, crude starch and amylose of rice flour

生化参数 Biochemical parameters	光谱变量 x Spectral variables	回归方程 Regression equations	R ²	F	标准误 Std.E
粗蛋白质 Crude protein	Dλ ₁₁₉₉	18.838exp(1148.5x)	0.727**	154.3	0.1049
	R ₉₈₇ /R ₅₅₃	-23.973x ² +77.138x-51.918	0.743**	82.4	0.8193
	Dλ ₇₉₃ /Dλ ₃₆₇	20.589x ^{0.3159}	0.746**	170.4	0.1011
		-15.522 R ₅₂₃ +13.903 R ₉₉₄ +342.88 R ₆₇₁ -347.32 R ₆₆₅ +7.4240 5228.39 Dλ ₁₁₉₉ +4095.47 Dλ ₈₃₁ -3149.24 Dλ ₁₄₈₀ +10.9390	0.789** 0.872**	51.3 127.2	0.7571 0.5834
粗淀粉 Crude starch	Dλ ₅₃₇	290.24exp(-1584.9x)	0.615**	93.2	0.1459
	R ₃₆₂ /R ₉₁₄	-358.92x ² +438.68x-26.755	0.628**	48.1	1.7967
	Dλ ₉₁₅ /Dλ ₃₈₁	71.357exp(5.1747x)	0.651**	110.2	0.1418
		496.65 R ₃₆₃ -334.27 R ₁₈₅₆ -67.524 R ₆₇₀ +205.92 R ₁₄₉₈ +68.335 -77982.8 Dλ ₅₃₇ +16638.2 Dλ ₁₉₇₃ -23126.7 Dλ ₉₉₇ +120.54	0.778** 0.716**	48.3 46.4	1.4571 1.5732
直链淀粉 Amylose	Dλ ₅₃₇	74.112exp(-1584.9x)	0.608**	90.1	0.1567
	R ₃₆₂ /R ₉₁₄	-86.866x ² +106.74x-6.3189	0.620**	46.4	1.8484
	Dλ ₉₁₅ /Dλ ₃₈₁	17.413exp(5.1747x)	0.640**	102.9	0.1504
		125.20 R ₃₆₃ -85.226 R ₁₈₅₆ -15.981 R ₆₇₀ +50.600 R ₁₄₉₈ +18.285 -19535.3 Dλ ₅₃₇ +4118.44 Dλ ₁₉₇₃ -5853.94 Dλ ₉₉₇ +30.4670	0.762** 0.705**	44.1 44.7	1.4881 1.6414

表 3 米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量的高光谱估算模型精度分析 (n=60)

Table 3 Analysis of precision for the hyperspectral estimating models of the contents (%) of crude protein, crude starch and amylose of rice flour (n=60)

生化参数 Biochemical parameters	光谱变量 x Spectral variables	回归方程 Regression equations	模拟 R ² Imulated R ²	模拟 F Simulated F	检验 R ² Inspected R ²	检验 F Inspected F	检验精度(%) Inspected precision
粗蛋白质 Crude protein	Dλ ₁₁₉₉	18.838exp(1148.5x)	0.727**	154.3	0.764**	188.2	91.3
	R ₉₈₇ /R ₅₅₃	-23.973x ² +77.138x-51.918	0.743**	82.4	0.343**	28.9	82.5
	Dλ ₃₇₉ /Dλ ₇₇₃	20.589x ^{0.3159}	0.746**	170.4	0.679**	122.0	92.0
		-15.522 R ₅₂₃ +13.903 R ₉₉₄ +342.88 R ₆₇₁ -347.32 R ₆₆₅ +7.4240 5228.39 Dλ ₁₁₉₉ +4095.47 Dλ ₈₃₁ -3149.24 Dλ ₁₄₈₀ +10.9390	0.789** 0.872**	51.3 127.2	0.584** 0.749**	31.6 55.8	82.6 93.2
粗淀粉 Crude starch	Dλ ₅₃₇	290.24exp(-1584.9x)	0.615**	93.2	0.712**	141.5	92.2
	R ₃₆₂ /R ₉₁₄	-358.92x ² +438.68x-26.755	0.628**	48.1	0.713**	142.9	93.1
	Dλ ₉₁₅ /Dλ ₃₈₁	71.357exp(5.1747x)	0.651**	110.2	0.701**	133.7	94.3
		496.65 R ₃₆₃ -334.27 R ₁₈₅₆ -67.524 R ₆₇₀ +205.92 R ₁₄₉₈ +68.335 -77982.8 Dλ ₅₃₇ +16638.2 Dλ ₁₉₇₃ -23126.7 Dλ ₉₉₇ +120.54	0.778** 0.716**	48.3 46.4	0.857** 0.744**	78.8 52.6	90.5 94.9
直链淀粉 Amylose	Dλ ₅₃₇	74.112exp(-1584.9x)	0.608**	90.1	0.706**	139.3	93.8
	R ₃₆₂ /R ₉₁₄	-86.866x ² +106.74x-6.3189	0.620**	46.4	0.708**	140.9	92.4
	Dλ ₉₁₅ /Dλ ₃₈₁	17.413exp(5.1747x)	0.640**	102.9	0.686**	126.8	94.0
		125.20 R ₃₆₃ -85.226 R ₁₈₅₆ -15.981 R ₆₇₀ +50.600 R ₁₄₉₈ +18.285 -19535.3 Dλ ₅₃₇ +4118.44 Dλ ₁₉₇₃ -5853.94 Dλ ₉₉₇ +30.4670	0.762** 0.705**	44.1 44.7	0.843** 0.753**	74.1 56.9	91.2 94.2

3 讨论

20 世纪 70 年代后期, 美国农业部 (USDA) 的研究人员研究了从干叶和干物质的反射光谱来对其生物化学参量 (如纤维素、蛋白质、糖、淀粉等) 进行估计, 分析精度能与湿化学分析法相媲美。本研究通过对米粉的蛋白质、淀粉、直链淀粉、不同比例稻米蛋白质和淀粉混合物及不同米粉的高光谱特征的分析, 结果表明:

(1) 粗蛋白质、直链淀粉和粗淀粉的光谱曲线有较大的差异, 直链淀粉和粗淀粉的反射光谱形状基本相同;

(2) 不同比例的粗蛋白质和粗淀粉混合时, 混合物的反射光谱与纯净物反射光谱相比会出现峰、谷位置“红移”或“蓝移”现象;

(3) 米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量与其某些高光谱变量之间具有极显著相关性, 估测米粉粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉含量时, 用导数光谱的估测效果要略好于原始光谱, 多元逐步回归模型的估测效果要比单变量模型的估测效果好。

一般说来, 样品中含量高的生化组分的估测效果要比含量低的生化组分的估测效果好, 这是符合光谱吸收的比尔定律的。本研究分析表明, 利用导数光谱估测的效果要比用原始光谱好, 原因是蛋白质和粗淀粉的吸收峰位于红外区域, 并且它们的吸收峰相互有重叠, 也与其它生化成分 (如纤维素) 的吸收峰重叠^[3], 而使用导数光谱可以将这些反射谷的变化趋势挖掘出来, 部分剔除各生化组分之间的相关性, 有利于分离不同生化组分的吸收特征。本研究是通过对米粉样品的高光谱来估测米粉中的粗蛋白、粗淀粉和直链淀粉含量作了一些探讨, 所使用的高光谱实质是漫反射光谱, 与米粉的外观形态和内部结构都有一定关系, 即与稻米品质 (外观、口味和营养) 相关。利用近红外漫反射光谱进行非接触在线检测已逐步应用于食品、烟草、医药等工业生产中。

4 结论

利用高光谱仪能对米粉中的粗蛋白质、粗淀粉和直链淀粉进行估测, 其中对粗淀粉的估测检验精度要好于对粗蛋白质和直链淀粉的估测。它可以为快速、低本地检测稻米品质, 为水稻品质的遥感监测、为用遥感方法对大量谷物及饲料的营养成分快速估测提供参考方法和依据。

References

- [1] Vane G, Goetz A F H. Terrestrial imaging spectrometry: current status, future trends. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 44(2): 117-126.
- [2] 薛利红, 朱 艳, 张 宪, 曹卫星. 利用冠层反射光谱预测小麦籽粒品质指标的研究. *作物学报*, 2004, 30(10): 1036-1041.
Xue L H, Zhu Y, Zhang X, Cao W X. Predicting wheat grain quality with canopy reflectance spectra. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(10): 1036-1041. (in Chinese)
- [3] Curran P J. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 30: 271-278.
- [4] Card D H, Peterson D L, Matson P A, Aber J D. Prediction of leaf chemistry by the use of visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 26: 123-147.
- [5] Kokaly R F. Investigating a physical basis for spectroscopic estimates of leaf nitrogen concentration. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 75: 153-161.
- [6] LaCapra V C, Melack J M, Gastil M, Valeriano D. Remote sensing of foliar chemistry of inundated rice with imaging spectrometry. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 55: 50-58.
- [7] 牛 铮, 陈永华, 隋洪智, 张庆员, 赵春江. 叶片化学组分成像光谱遥感探测分析. *遥感学报*, 2000, 4(2): 125-130.
Niu Z, Chen Y H, Sui H Z, Zhang Q Y, Zhao C J. Mechanism analysis of leaf biochemical concentration by high spectral remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 4(2): 125-130. (in Chinese)
- [8] Fourty T, Baret F. On spectral estimates of fresh leaf biochemistry. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(7): 1289-1297.
- [9] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 杨敏华, 王之杰. 利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究. *遥感学报*, 2003, 7(4): 277-284.
Wang J H, Huang W J, Zhao C J, Yang M H, Wang Z J. The inversion of leaf biochemical components and grain quality indicators of winter wheat with spectral reflectance. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(4): 277-284. (in Chinese)
- [10] 黄文江, 王纪华, 刘良云, 赵春江, 宋晓宇, 马智宏. 小麦品质指标与冠层光谱特征的相关性的初步研究. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 203-207.
Huang W J, Wang J H, Liu L Y, Zhao C J, Song X Y, Ma Z H. Correlation between grain quality indicators and spectral reflectance properties of wheat canopies by using hyperspectral data from winter wheat. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(4): 203-207. (in Chinese)
- [11] 冯 伟, 姚 霞, 田永超, 朱 艳, 刘小军, 曹卫星. 小麦籽粒蛋白质含量高光谱预测模型研究. *作物学报*, 2007, 33(12): 1935-1942.
Feng W, Yao X, Tian Y C, Zhu Y, Liu X J, Cao W X. Predicting

- grain protein content with canopy hyperspectral remote sensing in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(12): 1935-1942. (in Chinese)
- [12] 小西教夫, 志賀弘行, 安積大治, 高橋義博, 安達孝行, 齊藤元也. 美味しいお米を作るリモートセンシング. コンセプト測量, 2000, 7: 14-21.
- [13] Inoue Y, Sakaiya E, Nakano K. Estimating rice grain quality and growth during ripening period based on reflectance spectra. A Century of Integrating Crops, Soils & Environment ASA-CSSA-SSSA 2007 International Annual Meeting, November 4-8, New Orleans Louisiana.
- [14] Curran P J, Dungan J L, Peterson D L. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry-testing the kokaly and clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 76: 349-359.
- [15] Kokaly R F, Clark R N. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of features and stepwise multiple linear regression. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 67: 267-287.
- [16] Wu J G, Shi C H, Zhang X M. Estimating the amino acid composition in milled rice by near-infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research*, 2002, 75: 1-7.
- [17] Yadav B K, Jindal V K. Monitoring milling quality of by image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2001, 33: 19-33.
- [18] Barton F E, Himmelsbach D S, McClung A M, Champagne E T. Rice quality by spectroscopic analysis: precision of three spectral regions. *Cereal Chemistry*, 2000, 77(5): 669-672.
- [19] 陈 能, 罗玉坤, 朱智伟, 张伯平, 郑有川, 谢黎虹. 优质食用稻米品质的理化指标与食味的相关性研究. 中国水稻科学, 1997, 11(2): 70-76.
- Chen N, Luo Y K, Zhu Z W, Zhang B P, Zheng Y C, Xie L H. Correlation between eating quality and physico-chemical properties of high grain quality rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 1997, 11(2): 70-76. (in Chinese)
- [20] Kawamura S, Natsuga M, Takekura K, Itoh K. Development of an automatic rice-quality inspection system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2003, 40: 115-126.
- [21] 薛利红, 曹卫星, 李映雪, 周冬琴, 李卫国. 水稻冠层反射光谱特征与籽粒品质指标的相关性研究. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 431-436.
- Xue L H, Cao W X, Li Y X, Zhou D Q, Li W G. Relationship between canopy spectral reflectance characteristics and grain quality traits in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2004, 18(5): 431-436. (in Chinese)
- [22] 唐延林, 黄敬峰, 王人潮. 利用高光谱法估测稻穗稻谷的粗蛋白质和粗淀粉含量. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1282-1287.
- Tang Y L, Huang J F, Wang R C. Study on estimating the contents of crude protein and crude starch in rice panicle and paddy by hyperspectra. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(9): 1282-1287. (in Chinese)
- [23] 易翠平, 姚惠源. 高纯度大米蛋白和淀粉的分离提取. 食品与机械, 2004, 20(6): 18-21.
- Yi C P, Yao H Y. Isolation of rice protein and rice starch. *Food & Machinery*, 2004, 20(6): 18-21. (in Chinese)
- [24] 洪 雁, 顾正彪, 刘晓欣. 直链淀粉和支链淀粉纯品的提取及其鉴定. 食品工业科技, 2004, 25(4): 86-88.
- Hong Y, Gu Z B, Liu X X. Extraction and determination of pure amylose and amylopectin. *Science and Technology of Food Industry*, 2004, 25(4): 86-88. (in Chinese)
- [25] 王晋年, 张 兵, 刘建贵, 童庆禧, 郑兰芬. 以地物识别和分类为目标的高光谱数据挖掘. 中国图象图形学报, 1999, 4(11): 957-964.
- Wang J N, Zhang B, Liu J G, Tong Q X, Zheng L F. Hyperspectral data mining-toward target recognition and classification. *Journal of Image and Graphics*, 1999, 4(11): 957-964. (in Chinese)

(责任编辑 吴晓丽, 郭银巧)