

# 水稻直链淀粉质量分数快速检测方法研究

——以云南元江水稻为例

郑洪健<sup>1</sup>, 刘凯丽<sup>1</sup>, 徐晓东<sup>1</sup>, 刘鑫<sup>2</sup>, 杨娟<sup>2</sup>, 阚望<sup>2</sup>, 程霞<sup>1</sup>, 白成星<sup>3</sup>, 殷富有<sup>2\*</sup>

(1. 昆明学院 农学与生命科学学院, 云南 昆明 650214;

2. 云南省农业科学院 生物技术与种质资源研究所, 云南 昆明 650205;

3. 元江县乡村产业发展中心 水稻研究组, 云南 元江 653300)

**摘要:** 为实现对水稻中直链淀粉质量分数的快速检测, 开展检测方法的研究. 以元江早、晚稻为测试对象, 通过优化直链淀粉质量分数测量装置选择, 结合基于定量分析的直链淀粉光谱数据预处理, 近红外分析的淀粉质量分数差异检测和检测结果快速校正及优化, 构建了一种快速检测直链淀粉质量分数的方法. 与传统“碘比色法”比对结果显示, 该检测方法测定结果与“碘比色法”基本一致; 检测速率达到2份/min以上, 而“碘比色法”仅为1份/min. 说明该方法对元江早、晚稻直链淀粉质量分数的检测能够满足精度和效率的要求.

**关键词:** 水稻; 直链淀粉; 检测方法; 碘比色法

**中图分类号:** TS210.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2022) 03 - 0083 - 04

**DOI:** 10. 14091/j. cnki. kmxyxb. 2022. 03. 016

## Study on Rapid Detection Method of Amylose Content in Rice: A Case Study of Yuanjiang Rice in Yunnan Province

ZHENG Hongjian<sup>1</sup>, LIU Kaili<sup>1</sup>, XU Xiaodong<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>2</sup>,

YANG Juan<sup>2</sup>, KAN Wang<sup>2</sup>, CHENG Xia<sup>1</sup>, BAI Chengxing<sup>3</sup>, YIN Fuyou<sup>2\*</sup>

(1. School of Agriculture and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

2. Institute of Biotechnology and Germplasm Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan, China 650205;

3. Rice Research Group, Yuanjiang County Rural Industry Development Center, Yuanjiang, Yunnan, China 653300)

**Abstract:** In order to realize a rapid detection of amylose content in rice with high precision and efficiency, a detection method was studied. Taking Yuanjiang early and late rice as the test object, by improving the selection of amylose mass fraction measurement device, preprocessing amylose spectral data based on quantitative analysis, detecting the difference of starch mass fraction by near-infrared analysis besides quickly correcting and optimizing the detection results, a detection method for rapid detection of amylose mass fraction was constructed. The comparison results with the traditional method “iodine colorimetry” showed that the determination results of this method were basically consistent with that of “iodine colorimetry”. The detection rate was more than 2 phr/min. In contrast, the detection rate of “iodine colorimetry” was only 1 phr/min. It showed that this detection method for the early and late rice in Yuanjiang can meet the requirements of accuracy and efficiency.

**Key words:** rice; amylose; detection method; iodine colorimetry

收稿日期: 2022 - 03 - 11

基金项目: 院士专家工作站 (202005AF150032); 云南省种子种业联合实验室、云南省青年拔尖人才专项资助项目 (YNWR-QNBJ-2018-284); 云南省基础研究专项面上资助项目 (202001AT070015).

作者简介: 郑洪健 (1997—), 男, 山东寿光人, 在读研究生, 主要从事药用野生稻杂交后代染色体及分子标记检测研究.

\*通信作者: 殷富有 (1976—), 男, 云南陆良人, 副研究员, 主要从事野生稻种质创新研究, E-mail: yinfuyou2007@126.com.

水稻的主要成分是淀粉,其质量分数直接关系到水稻类蒸煮食品的品质.从化学角度对直链淀粉的形成来看,其是 D-葡萄糖基通过  $\alpha(-1,4)$  糖苷键相互连接得到,在空间结构上呈现出卷曲螺旋形.研究<sup>[1]</sup>表明,水稻中的直链淀粉质量分数越高,其硬度越高,且具备干燥和蓬松的特点,颜色上也更暗;水稻中的直链淀粉质量分数越低,则其硬度越低,且具备柔软和有弹性的特点,表面光泽度也更高.此外,现有针对水稻中直链淀粉质量分数的检测方法主要包括常规方法、分光光度法等,其基本原理都是利用碘比色法间接得到直链淀粉的质量分数,而 these 方法操作相对复杂,耗时长,且对技术方面的要求较高,不利于水稻中直链淀粉质量分数的高效、准确测定.然而,直链淀粉测试在食品领域中具有广阔的应用前景,尤其是在粮食中的质量分数测定,以及粮食作物品种的选择和培育方面,因此直链淀粉测试研究均具有较大意义.本文以云南省元江哈尼族彝族傣族自治县的早稻、晚稻为材料,对其直链淀粉质量分数检测方法进行探讨,旨在为水稻中直链淀粉质量分数的快速检测提供参考.

## 1 材料与方法

采用云南省元江哈尼族彝族傣族自治县的早稻和晚稻为样品,其中将早稻样品编号为 21-01~21-30,共 30 份;晚稻样品编号为 20-01~20-30,共 30 份.样品去除杂质、灰尘等后,碾磨成粉末状,过 100 目筛,然后分别装入样品袋,编号备用.

### 1.1 检测方法的改进

#### 1.1.1 直链淀粉质量分数检测装置选择

对 60 份早、晚稻样品进行测量,每个样品重复两次.在以往直链淀粉质量分数检测方法的基础上,对直链淀粉质量分数的测量装置进行选择,选择范围包括紫外可见分光光度计、全自动化学分析仪、流动注射仪等.对这些仪器设备进行选择时,可选择单色光卤钨灯类型,并要求其波长在 300~1 000 nm 范围内.针对其发射出的混合光,可利用单色器进行分解,获得单色光源.通常情况下,单色光源的谱带宽度与单色器装置的狭缝大小有着直接关联.狭缝越窄,则单色光谱带也越窄,发射出的光单色性越强;狭缝

越宽,则单色光谱带也越宽,发射出的光单色性越弱<sup>[2]</sup>.为确保所测量的直链淀粉质量分数的精度符合要求,需要从检测装置的稳定性和准确性进行改进,方案如下:

首先,针对检测过程中产生的非单色光造成检测结果朗伯-比尔定律偏离实际的问题,光源应采用高稳定单波长激光光源;其次,针对检测时光电转换的非线性造成装置出现的误差,要使用线性度良好的硅光电池;最后,为实现直链淀粉质量分数的自动化检测,引入模块化技术,通过大幅缩小装置体积的方式,将其应用到装置内部,以此通过模块化的方式提升检测装置的自动化程度.根据上述方案改进后组建的直链淀粉质量分数检测装置内部模块组成如图 1 所示.将装置应用于 X86 Windows,硬盘 80 G,Oracle 10 g XE 数据库,内存在 1 GB 以上的运行环境中,利用面向对象的高级编程语言 C++ 自行开发,并对获取到的早、晚稻直链淀粉色度学信息进行分析.将本文提出的方法与现代色度学原理结合,并通过图像识别和软件编程实现对直链淀粉质量分数测定的简化.

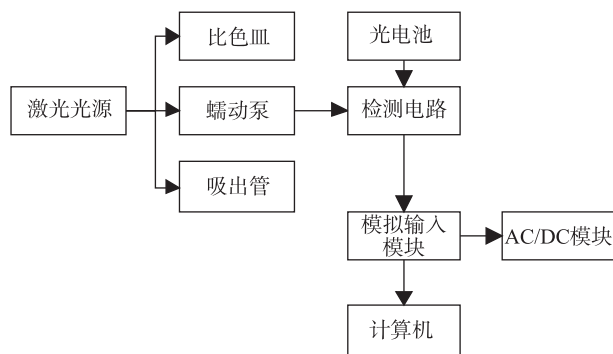


图 1 水稻直链淀粉质量分数检测装置内部模块组成

采用上述装置检测直链淀粉质量分数的基本操作流程如下:

先将激光投射到比色皿上,此时其中一部分光被溶液吸收,另一部分未被吸收的光投射到光电电池上.光电电池的作用是将光信号转变为电信号,再利用检测电路对电信号进行放大处理,通过模拟输入模块实现对电信号的传输.然后利用 AC/DC 模块对这一过程中产生的数据进行采集,并完成模/数转换,将得到的数据通过串口传输到计算机中,最后利用计算机的分析单元对数据进行处理分析<sup>[2]</sup>.

### 1.1.2 基于定量分析的直链淀粉光谱数据预处理

利用上述直链淀粉质量分数检测装置, 并按照流程完成对样品的检测, 从而得到样品近红外光谱结果, 该结果中包含了样品的物质组成信息和结构信息<sup>[3]</sup>. 而在元江的早、晚稻中, 直链淀粉的质量分数与其结构有着更直接的关系, 因此需要引入定量分析的方法, 以确保两者关联, 从而达到对光谱数据预处理的目的<sup>[4]</sup>. 除此之外, 由于在检测的过程中影响检测最终结果的因素较多, 检测环境较复杂, 常常会出现异常样品和带有光谱噪声的检测结果<sup>[5]</sup>. 针对这些问题, 需要完成对数据变量的筛选, 并优化得出光谱的具体范围, 从而达到净化谱图信息的目的, 同时也能够降低甚至避免干扰因素对最终检测结果造成的误差影响<sup>[6]</sup>. 在预处理时, 假设光谱矩阵为  $X$ , 对该矩阵  $X$  进行去中心化处理, 得到  $X'$ . 此时  $X'$  当中所有数据的均值为零, 找出  $X$  与  $X'$  之间变化关系, 并得到如下表达式:

$$X = \begin{bmatrix} x'_{11} & \cdots & x'_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ x'_{n1} & \cdots & x'_{np} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式(1)中,  $n$  表示  $X'$  矩阵行数;  $p$  表示  $X'$  矩阵列数.

在确定光谱矩阵与去中心化光谱矩阵之间的关系后, 对数据进行标准化处理, 并得到  $X''$ . 此时  $X''$  的均值为零, 方差为 1, 以此确保矩阵中的数据在标度上具有可比性, 并进一步消除单位不同产生的影响, 完成上述操作则可实现对直链淀粉光谱数据定量预处理.

### 1.1.3 基于近红外分析的直链淀粉质量分数差异检测

在完成数据处理后, 对元江早、晚稻中含有的直链淀粉进行测定, 采用近红外分析的方法确定不同样品的直链淀粉质量分数差异. 而针对检测样品的原光谱, 利用 Kennard-Stone 算法进行挑选, 选取光谱差异较大的样品数目<sup>[7]</sup>. 样品距离数值越大, 则样品与样品族之间的距离越远, 对于样品族而言, 此时被检测的样品为异常样品. 在对其距离进行计算时, 采用马氏距离计算. 对近红外光谱矩阵进行主成分分解, 并用主成分得到分矩阵, 以此代替原近红外光谱计算马氏距离, 得到样品对应全局样品

族的距离, 并根据上述全局距离理论找出异常样品. 在具体分析过程中, 采用标准或认可的参考方法测定样品的组成以及性质基础数据. 由于本检测方法引入了近红外分析方法, 而该技术是一种间接分析技术, 因此为了确保检测结果的准确性, 在完成测定后还需要对结果进行校正.

### 1.1.4 检测结果快速校正及优化

基于上述近红外分析方法得到的检测结果, 对其进行快速校正. 首先引入多元线性回归, 从近红外光谱中找出与直链淀粉显著相关的几个波长点上的吸光度, 并得到标准函数, 用于对未知样品中直链淀粉质量分数的测定. 其标准函数的表达式为:

$$y = Kb + e, \quad (2)$$

式(2)中,  $y$  表示样品中直链淀粉质量分数标准值;  $K$  表示样品近红外光谱吸光度;  $b$  表示回归系数;  $e$  表示残差. 将上述检测得到的结果代入式(2)中, 得到校正后的检测结果. 在实际应用中, 由于采用多元线性回归的方法检测时不能对超过校正集的样品数进行校正, 因此存在一定局限性. 针对这一问题, 对于超过校正集样品数量的部分, 可选择利用成分回归方程求解的方式, 对该部分样品的主成分进行分析, 并通过计算得到对应的载荷矩阵. 将该矩阵代入最小二乘解中, 用其反映数据变量的方差值, 方差越大, 则数据中包含的信息越多, 以此从样品本身实现对其信息量的优化, 确保检测得到更准确的结果.

### 1.2 检测方法验证

为了验证本文提出的快速检测方法的应用性能和可行性, 用本文检测方法与“碘比色法”进行检测结果对比. 分别将检测精度和检测效率作为评价指标, 对本检测方法的实际应用效果进行客观评价. 样品的前处理方法按照《稻米直链淀粉含量测定》(GB/T 15683—1995)的前处理方法进行, 所用的设备为上述所选择和设计的直链淀粉质量分数测量装置.

## 2 结果与分析

从上述检测的 60 份样品结果中, 随机选取 5 份早稻样品和 5 份晚稻样品, 并将测量结果列于表 1 中.

表 1 元江早、晚稻直链淀粉质量分数测量结果 %

编号	本文方法测量结果			“碘比色法”测量结果		
	第 1 次 测量	第 2 次 测量	平均值	第 1 次 测量	第 2 次 测量	平均值
21-01	16.096	15.056	15.576	16.097	15.054	15.576
21-08	13.597	13.424	13.511	13.598	13.421	13.510
21-13	15.518	15.256	15.387	15.520	15.255	15.388
21-18	16.214	16.071	16.143	16.215	16.073	16.144
21-26	15.137	14.768	14.953	15.135	14.766	14.951
20-02	16.804	16.126	16.465	16.806	16.123	16.465
20-06	17.762	15.309	16.536	17.765	15.310	16.538
20-15	16.942	19.786	18.364	16.941	19.788	18.365
20-19	23.389	22.834	23.112	23.390	22.837	23.114
20-27	15.028	13.557	14.293	15.030	13.559	14.295

表 2 本文检测方法 与 “碘比色法” 检测速率比较

样品类型	早稻			晚稻		
编号	21-01~21-10	21-11~21-20	21-21~21-30	20-01~20-10	20-11~20-20	20-21~20-30
本文方法检测速率/(份·min <sup>-1</sup> )	2.3	2.6	2.4	2.5	2.4	2.3
“碘比色法”检测速率/(份·min <sup>-1</sup> )	1.2	0.9	1.1	1.2	1.1	1.2

为了体现本文检测方法的应用优势,表 2 记录了传统“碘比色法”和本文方法检测方法对相同样本测定时的检测速率.从表 2 可以看出,利用本文提出的检测方法在对元江早、晚稻中直链淀粉质量分数进行测定时,平均每 1 min 能够实现对 2 份以上样品的检测,并得到检测结果.而传统“碘比色法”的检测速率仅在 1 份/min 左右,明显低于本文检测方法的检测速率.

3 讨论与结论

为了实现对水稻中直链淀粉质量分数的测定,本文提出了一种新的检测方法.该方法不需要通过反复的测量即可得到准确的测量结果.而采用传统检测方法测量,由于测量精度过低,需要通过同一组样本进行多次测量并求解平均值的方式才能得到最终的检测结果<sup>[8]</sup>.在这一过程中传统检测方法会消耗大量的时间成本用于测量和计算.相比之下,本文提出的检测方法的检测效率更高、更能满足实际应用的需要,且所获得的结果准确度高,能够为水稻选种提供参考.

除水稻以外,其他农作物,如玉米、大麦、绿豆等也含有大量的直链淀粉,本文提出的检测方法能否实现对这些农作物的高效检测还未得到验证.因此,后续工作还将针对这一问题进行研究,并将

从表 1 中可以看出,利用本文上述提出的检测方法能够实现对元江早、晚稻中直链淀粉质量分数测定,并且得到的测定结果与传统“碘比色法”测量的结果基本一致,二者之间差值不超过 0.2%.为了进一步验证本文检测方法的效率,选择将上述 60 份样品的检测速率作为测定效率评价的量化指标,检测速率的计算公式为:

$$\gamma = m/t,$$
 (3)

式 (3) 中,  $\gamma$  为本文检测方法的检测速率;  $m$  表示在规定时间内完成检测的样本数;  $t$  为检测时间.根据式 (3),计算出每 10 份样品检测的检测速率,并将结果列于表 2.

以提升检测结果的精度和预测能力为目标,对不同农作物提出更具针对性的优化策略,以此提高该检测方法的应用范围和适应性.

[参考文献]

[1] 陈莹,杨瑰丽,郭涛,等. 稻米直链淀粉含量的 96 微孔高通量快速测定方法 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48 (5): 185-188.

[2] 张巧杰. 直链淀粉检测方法与技术研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.

[3] 陈晓玲,冯前进,谢振文,等. 水稻直链淀粉含量近红外模型的创建 [J]. 仲恺农业工程学院学报, 2009, 22 (1): 5-8, 12.

[4] 王丽平. 基于近红外光谱技术的水稻直链淀粉含量检测模型研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017.

[5] 徐广通,袁洪福,陆婉珍. 现代近红外光谱技术及应用进展 [J]. 光谱学与光谱分析, 2000 (2): 34-142.

[6] 路辉,彭彬倩,冯晓宇,等. 大米直链淀粉、蛋白质、脂肪、水分含量的近红外光谱检测模型优化 [J]. 中国稻米, 2020, 26 (6): 55-59, 63.

[7] 张巧杰,熊鸣,祁鲲. 无信息变量消除法在糙米直链淀粉波长选择中的应用 [J]. 农机化研究, 2010, 32 (11): 202-205.

[8] 肖昕,陈奕,谢新华,等. 稻米直链淀粉含量测定方法的研究 [C] //中国作物学会. 2003 年全国作物遗传育种学术研讨会论文集. 北京: 作物杂志出版社, 2003.