

双波长法测定木薯的直链和支链淀粉含量

郭运玲, 孔 华, 左 娇, 贾瑞宗,
黄启星, 郭静远, 周 霞, 郭安平*

中国热带农业科学院热带生物技术研究所 海南海口 571101
农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室

摘 要 直链淀粉和支链淀粉含量及其比例是木薯淀粉品质的重要指标。采用双波长法对 30 个木薯株系的直、支链淀粉的含量进行了测定, 根据碘分别与直链和支链淀粉反应生成复合物的吸收光谱, 我们最后确定了直链淀粉的和支链淀粉的参比波长和测定波长分别是 609 和 469.5 nm、542 和 721 nm。根据回归方程得到了 30 个木薯株系的直链淀粉和支链淀粉的含量。本实验中用于测定木薯的直链淀粉浓度在 0~26 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 支链淀粉浓度在 0~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内符合比耳定律。结果表明: SC8 不同株系的直链淀粉含量变化范围: 14.879%~21.905%, 支链淀粉含量变化范围: 47.864%~56.955%; SC6 不同株系的直链淀粉含量变化范围: 15.494%~24.726%, 支链淀粉含量变化范围 44.292%~57.465%。该方法准确性高、重复性好、效率高, 工作量小, 适于批量木薯样品分析。

关键词 木薯; 双波长法; 直链淀粉; 支链淀粉;

中图分类号 TS235.2

文献标识码 A

Determination of Amylose and Amylopectin Content in Cassava by Dual-Wavelength Method

GUO Yunling, KONG Hua, ZUO Jiao, JIA Ruizong,
HUANG Qixing, GUO Jingyuan, ZHOU Xia, GUO Anping*

Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture/Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, CATAS, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract The content and proportion of amylose and amylopectin are important indices of cassava. A dual-wavelength method was applied to the determination of amylose and amylopectin in 30 cassava varieties. According to the absorption spectra of the two complexes, the determination of wavelength and reference wavelength of amylose, 609 nm and 469.5 nm, and the determination of wavelength and reference wavelength of amylopectin, 542 nm and 721 nm, were selected as the measuring wavelength. The content of amylose and amylopectin were figured out from the two regressive equations. Beer's law was obeyed in 0~26 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for amylose and 0~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for amylopectin. The results showed that the amylose content of SC8 different strains was 14.879% to 21.905%, the amylopectin content was 47.864% to 59.955%; The amylose content of SC6 different strains was 15.494% to 24.726%, and the amylopectin content was 44.292% to 57.465%. The method had a good repetition and could be applied for analyzing plentiful samples of cassava due to its accuracy and rapidness.

Key words Cassava; Dual-Wavelength method; Amylose; Amylopectin

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2016.06.027

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 属于大戟科块根作物, 是热带、亚热带地区重要传统的经济作物和粮食作物, 木薯是主要以地下块根形式储存合成的淀粉, 木薯适应范围非常广, 具有抗逆、耐贫瘠, 以及生物量很高和淀粉含量高等多种特点。木薯淀粉在淀粉食品、工业原料等领域有十分广泛的用途, 在中国木薯作为新兴的能源作物受到重视, 木薯生产和加工产业有很大的发展前景^[1]。木薯淀

粉的主要成份是直链淀粉和支链淀粉, 直链淀粉和支链淀粉的组成比例直接影响着淀粉的化学特性以及加工用途^[2]。测定淀粉含量及淀粉中直链淀粉、支链淀粉组成比例的方法有很多, 如碘亲和力测定法、排阻色谱分析法、旋光法、国标法、双波长法和多波长法、比色法、近红外法、差示扫描量热法等。这些测定方法各有自己的特点和不足, 如有的操作过程复杂, 成本较高, 或者不能很好把直链和

收稿日期 2015-11-30

修回日期 2016-02-22

基金项目 海南省应用技术与开发专项项目(No. ZDXM2014051); 国家自然科学基金项目(No. 311716)。

作者简介 郭运玲(1966年—), 女, 硕士, 研究员; 研究方向: 农业生物技术。* 通讯作者(Corresponding author); 郭安平(GUO Anping), E-mail: gap211@126.com。

支链淀粉区分开来,因此应用有一定的局限性^[3-6]。淀粉的双波长测定方法主要是根据碘分别与直链淀粉和支链淀粉发生反应所生成的复合物颜色对吸收光谱的反应,直链淀粉与碘试剂发生反应生成深蓝色的复合物,而支链淀粉与碘试剂发生反应生成棕红色复合物,它们的吸收光谱不同。本课题组通过直链淀粉/支链淀粉的标准样品经过碘试剂处理后所发生的反应,通过液相色谱扫描获得各自的吸收光谱,然后运用作图方法找到适合测定直链淀粉与支链淀粉的 2 种波长,并建立它们的标准曲线。由于本方法具有准确性高、重复性好、效率高,工作量小,成本低等特点,已成为植物淀粉测定的常用方法^[7-14]。在木薯直链/支链淀粉测定中,黄惠芳等^[15]利用该方法对木薯 GR891 品种的直链和支链淀粉测定过程中样品处理温度进行了研究。因此本研究采用该方法对 30 份木薯样品进行直链和支链淀粉的测定,获得了 30 份木薯样品的直链/支链淀粉的含量,从而得到每个木薯样品的总淀粉含量。

RNA 干扰技术和反义技术是人为控制基因表达的直接有效方法,已经成为人们在基因工程技术中使用的有效手段和工具^[16],在水稻、玉米和马铃薯等农作物上利用该手段改变淀粉组成等都有成功的报道^[17-19]。本研究中所测定的 30 份木薯材料中,除了 2 个对照亲本外,28 份是利用 RNA 干扰技术和反义技术获得的转基因植株,因此本试验采用双波长比色法对所获得的 28 个转基因植株及 2 个对照亲本(SC6和SC8)淀粉含量和直链/支链淀粉含量进行测定,比较淀粉组分是否发生变化,从而比较 RNA 干扰技术和反义技术在改良木薯淀粉品质上的效果,同时为木薯产品加工及木薯淀粉品质的遗传改良及生理指标分析提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试木薯块根 木薯块根采自种植于海南省文昌市农业部转基因植物及植物用微生物环境安全监督检查测试中心(海口)试验基地的 28 个木薯转基因株系及 2 个对照亲本材料(SC6和SC8)。为了保证试验结果的可靠性,供试材料统一时间种植在相同地块,栽培管理措施相同。在木薯成熟期鲜薯采后洗干净切片(丝),105℃烘箱烘干至恒重,将木薯干(丝)粉碎后经过 100 目筛,然后用石油醚进行脱脂,再在 80℃烘箱中烘干至恒重,脱脂后的木薯干粉用于淀粉含量和淀粉组分的测定分析。

1.1.2 实验所用仪器 美国 PerkinElmer 公司生产的 Lambda35 紫外-可见分光光度计、恒温鼓风干燥箱(国产)、粉碎机(美的牌)、索氏抽提器、江苏金坛市医疗器械厂生产的 HH-S4 数显恒温水浴锅、电子分析天平。

1.1.3 实验所需试剂 直链淀粉与支链淀粉标准样品由美国 sigma 公司生产,氢氧化钾、盐酸、无水乙醇、石油醚、碘和碘化钾均为国产分析纯。

碘试剂:先称取碘化钾 2.0 g,用少量蒸馏水溶解后再加入碘 0.2 g,待碘完全溶解后用蒸馏水稀释定容至 100 mL 贮藏于棕色磨口试剂瓶中。碘试剂一般现配现用。

1.2 方 法

30 份木薯块根干粉中总淀粉含量和直链淀粉/支链淀粉组成比例的测定方法主要参考戴双等^[8]的方法。

1.2.1 直链淀粉和支链淀粉标准溶液的配制 称取购于 sigma 公司的直链淀粉标准样品 0.100 0 g,将它加入 100 mL 容量瓶中,参考戴双等^[8]的方法配制 1 mg/L 直链淀粉标准溶液。然后配制浓度分别为 0、2、6、10、14、18、22、26 μg/mL 的系列直链淀粉标准溶液。按照上述同样的方法配制浓度分别为 0、40、50、60、70、80、90、100 μg/mL 的支链淀粉标准溶液。

1.2.2 直链淀粉和支链淀粉测定波长的选择 先分别选取直链淀粉的 26 μg/mL 标准溶液和支链淀粉的 100 μg/mL 标准溶液,再将它们分别在分光光度计上进行 400~1 000 nm 的波段光谱扫描,获得直链/支链淀粉的吸收光谱图,然后采用作图方法获得了木薯直链淀粉测定波长为 λ₁ 值为 609 nm,它的参比波长 λ₂ 值为 469.5 nm;木薯支链淀粉的测定波长 λ₃ 值为 542 nm,它的参比波长 λ₄ 值为 721 nm。

1.2.3 双波长木薯淀粉测定的标准曲线绘制 (1) 双波长木薯直链淀粉测定标准曲线绘制:参考戴双等^[8]的方法,将配制好的用于测定木薯直链淀粉的系列标准溶液在 λ₁ 值为 609 nm 和 λ₂ 值为 469.5 nm 的双波长下分别测定得到它们的吸光度为 E_{λ1}、E_{λ2},吸光度差值 ΔE=E_{λ1}-E_{λ2}。然后以吸光度差值 ΔE 值为横坐标,以直链淀粉标准溶液浓度为纵坐标,绘制即得到双波长木薯直链淀粉测定的标准曲线。

(2) 双波长木薯支链淀粉测定标准曲线绘制。同样参考戴双等^[8]的方法,将配制好的用于测定木薯支链淀粉的系列标准溶液在 λ₃ 值为 542 nm 和

λ_4 值为 721 nm 2 个波长下分别测定得到它们吸光度 E_{λ_3} 、 E_{λ_4} , 吸光度差值 $\Delta E = E_{\lambda_3} - E_{\lambda_4}$ 。然后以吸光度差值 ΔE 为横坐标, 以支链淀粉标准溶液浓度为纵坐标, 绘制即可得到双波长木薯支链淀粉测定的标准曲线。

木薯样品总淀粉含量即为木薯直链淀粉的含量与木薯支链淀粉含量之和。

1.2.4 双波长比色法测定木薯块根中淀粉的含量

分别称取 30 份经过脱脂处理的木薯淀粉样品各 0.100 g 左右, 先加入适量的无水乙醇湿润透, 然后加入 10 mL 浓度为 1 mol/L 氢氧化钾溶液, 再放入 75 °C 热水浴中振荡 15 min, 待完全溶解后取出, 稍冷却后加入蒸馏水定容至 50 mL, 静置 20 min。分别吸取 3 mL 木薯样品溶液作为木薯样品的测定液和样品空白液, 然后各加入 20~30 mL 蒸馏水, 以 0.1 mol/L 浓度盐酸调节 pH 值为 3.5 左右, 在木薯样品测定液中加入 0.5 mL 碘试剂, 将木薯样品的测定液和样品空白液定容至 50 mL, 摇匀后静置 20 min, 再以样品空白液作为对照, 分别对 30 份木薯样品的测定液用分光光度计在 λ_1 值为 609 nm、 λ_2 值为 469.5 nm、和 λ_3 值为 542 nm、 λ_4 值为 721 nm 这 4 个波长下测定得吸光度, 再根据木薯样品的直链淀粉和支链淀粉的双波长测定标准曲线计算出木薯样品的直链淀粉和支链淀粉的含量, 直链淀粉和支链淀粉二者相加即可得到木薯样品总淀粉的含量。每个样品重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 木薯直链淀粉测定标准曲线的建立

以木薯直链淀粉的测定波长为 λ_1 值 609 nm, 参比波长为 λ_2 值 469.5 nm 的吸光度差值 ΔE 值为横坐标, 以直链淀粉标准溶液浓度为纵坐标, 绘制得到了木薯直链淀粉测定的标准曲线(图 1), 拟合方程式为: $y = 244.3x - 1.636$, $R^2 = 0.996$, 说明用于木薯直链淀粉测定的标准曲线制作良好, 直链淀粉

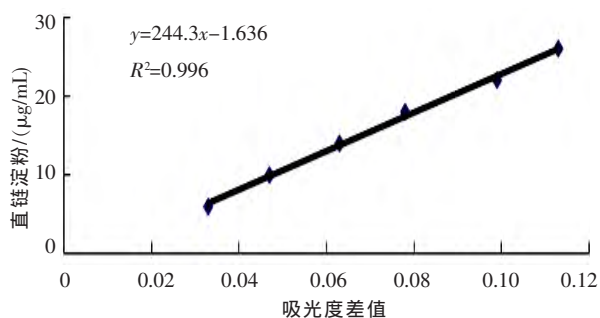


图 1 木薯直链淀粉测定标准曲线

Fig.1 Determinated standard curve of amylose in Cassava

质量浓度在 26 $\mu\text{g/mL}$ 范围内呈现良好的线性关系, 符合比耳定律。

2.2 木薯支链淀粉测定标准曲线的建立

以木薯支链淀粉的测定波长 λ_3 值为 542 nm, 参比波长 λ_4 值为 721 nm 的吸光度差值 ΔE 值为横坐标, 以支链淀粉标准溶液浓度为纵坐标, 绘制得到了木薯支链淀粉测定的标准曲线(图 2), 拟合方程式为: $y = 506.4x + 3.968$, $R^2 = 0.999$ 。也说明了用于木薯支链淀粉测定的标准曲线制作良好, 支链淀粉质量浓度在 100 $\mu\text{g/mL}$ 范围内呈现很好的线性关系, 符合比耳定律。

2.3 华南木薯 SC8 及 15 个转基因木薯样品的直链、支链及总淀粉含量测定

从表 1 中可以看出, 对照亲本 SC8 直链淀粉含量为 17.354%, 支链淀粉含量 55.563%, 总淀粉含量 72.917%, 15 个转基因株系中, 直链淀粉含量变化范围: 14.879%~21.905%, 支链淀粉含量变化范围: 47.864%~56.955%, 支链/直链比变化范围: 2.460~3.906。其中 8(2S)15 直链淀粉含量为 21.905%, 比对照 SC8 高 26.22%。15 个转基因株系中, 有 8 个直链淀粉含量比对照有所提高, 其中有 2 个的差异达到显著水平, 说明转入的淀粉分支酶干扰载体对木薯支链淀粉合成起了一定的干扰作用, 从而提高了直链淀粉的含量。

2.4 SC6 及 13 个转基因木薯株系样品的直链、支链及总淀粉含量测定

从表 2 中可以看出, 对照亲本 SC6 直链淀粉含量为 16.779%, 支链淀粉含量 57.465%, 总淀粉含量 74.244%, 13 个转基因株系中, 直链淀粉含量变化范围: 15.494%~24.726%, 支链淀粉含量变化范围 44.292%~57.465%, 支链/直链比变化范围: 1.969~3.384。其中 6J9(8) 直链淀粉含量为 24.726%, 与 SC6 相比较提高了 47.36%; 6(2S)6 直链淀粉含量 23.401%, 与对照亲本 SC6 相比较提高了 39.47%。13 个转基因株系中, 有 8 个直链淀粉

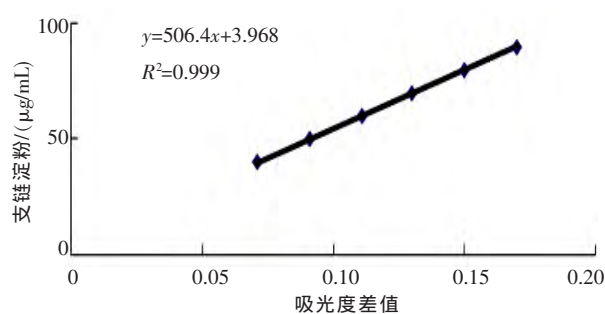


图 2 木薯支链淀粉测定标准曲线

Fig. 2 Determinated standard curve of amylopectin in Cassava

表 1 SC8 及转基因株系木薯粉中直链淀粉、支链淀粉和总淀粉的含量/%
Table 1 Content of amylose, amylopectin and total starch in Cassava starch in SC8 and GM strains/%

样品编号	直链淀粉	支链淀粉	总淀粉	支链/直链	样品编号	直链淀粉	支链淀粉	总淀粉	支链/直链
8(2S)1	14.879 b	55.975 a	70.854	3.761	8(2S)15	21.905 c	48.970 c	70.875	2.460
8(2S)3	17.601 a	52.523 b	70.124	2.984	8(2S)24	16.992 a	47.864 c	64.856	2.817
8(2S)4	17.758 a	51.609 b	69.367	3.906	8(2S)25	17.560 a	55.004 a	72.564	3.132
8(2S)6	16.684 a	52.547 b	69.231	3.149	8(2S)28	16.339 a	49.546 c	65.885	3.032
8(2S)10	17.446 a	55.552 a	72.998	3.184	8(2S)32	17.286 a	54.739 a	72.025	3.167
8(2S)11	15.542 b	56.955 b	72.497	3.665	8(2S)33	18.539 a	53.317 a	71.856	2.876
8(2S)13	18.991 b	52.675 a	71.666	2.774	8(2S)40	16.873 a	53.139 a	70.012	3.149
8(2S)14	17.587 a	51.654 a	69.241	2.937	SC8(CK1)	17.354 a	55.563 a	72.917	3.202

说明: a-c 字母表示 LSD 测验在 $p=0.05$ 水平的差异显著, 下同。

Note: a-c letters represent LSD test significant difference in $p=0.05$, the same as below.

表 2 SC6 及转基因株系木薯粉中直链淀粉、支链淀粉和总淀粉的含量/%

Table 2 Content of amylose, amylopectin and total starch in Cassava starch in SC6 and GM strains/%

样品编号	直链淀粉	支链淀粉	总淀粉	支链/直链	样品编号	直链淀粉	支链淀粉	总淀粉	支链/直链
6J9(8)	24.726 c	48.686 c	73.412	1.969	6(2S)6	23.401 c	49.395 c	72.796	2.111
6J9(25)	18.112 a	56.119 b	74.231	3.098	6(2S)8	15.494 a	51.291 b	66.785	3.310
6J9(19)	16.322 a	54.030 b	70.352	3.310	6(2S)11	20.939 b	44.292 c	65.231	2.115
6J7(59)	16.658 a	55.767 a	72.425	3.348	6(2S)13	17.016 a	56.968 a	73.984	3.348
6J7(66)	16.520 a	52.601 b	69.121	3.184	6(2S)14	16.996 a	55.329 a	72.325	3.255
6(2S)2	15.681 a	53.064 b	68.745	3.384	6(2S)15	18.651 a	55.361 a	74.012	2.968
6(2S)5	17.642 a	47.690 c	65.332	2.703	SC6(CK2)	16.779 a	57.465 a	74.244	3.425

粉含量比对照高, 其中有 3 个的差异达到显著水平。说明转入的淀粉分支酶干扰和反义载体基因对木薯支链淀粉合成起了一定抑制作用, 从而提高了直链淀粉的含量。

3 讨论

3.1 木薯淀粉标准溶液的确定和测定波长选择

本实验中选择了木薯直链淀粉测定的最大的标准溶液为 $26 \mu\text{g/mL}$, 木薯支链淀粉测定的最大的标准溶液为 $100 \mu\text{g/mL}$ 。跟已有文献报道相同^[7,9-13]。对标准溶液在分光光度计上进行 $400\sim 1000 \text{ nm}$ 光谱段扫描, 分别获得木薯直链淀粉和支链淀粉的吸收光谱图, 再用作图方法获得木薯直链淀粉的测定波长和参比波长分别为 609 和 469.5 nm , 木薯支链淀粉的测定波长和参比波长分别为 542 和 721 nm 。直链淀粉和支链淀粉分别在 609 和 542 nm 处有最大吸收峰。本实验采用的直链淀粉与支链淀粉标准品为美国 sigma 公司生产, 标准品不同, 尤其是纯度不同, 获得的测定波长会有差异。加列西·马那甫等^[13]对淀粉的直链淀粉和支链淀粉测定分析, 他们采用的作图方法确定了谷物类和豆类淀粉的直链淀粉的测定波长和参比波长分别为 565 和

495 nm , 支链淀粉的测定波长和参比波长分别为 530 和 654 nm 。金玉红等^[9]在测定小麦的直链和支链淀粉中采用的择直链淀粉的测定波长为 631 和 480 nm , 支链淀粉的测定波长为 554 和 754 nm 。前人对高粱及多种粮豆作物做了测定, 样品不同测试结果会有很大的差异^[7,10-12]。大米直链淀粉测定有国标 GB/T15683-2008^[20], 该方法采用单波长 720 nm 处的吸光度, 对大米等谷物类淀粉的测定比较有效, 而对于木薯等块根类淀粉, 采用双波长测定方法更有效。

3.2 木薯直链淀粉和支链淀粉测定标准曲线的建立

本实验中直链淀粉的浓度在 $0\sim 26 \mu\text{g/mL}$, 支链淀粉浓度在 $0\sim 100 \mu\text{g/mL}$ 范围内呈现良好的线性关系, 符合比耳定律。已有文献报道, 在小麦、高粱等禾谷类作物以及烟草、豆类、银杏等方面研究表明, 直链淀粉浓度一般在 $0\sim 80 \text{ mg/L}$, 支链淀粉的浓度在 $0\sim 400 \text{ mg/L}$ 范围内符合比耳定律^[7,9-13]。利用该方法测定直链和支链淀粉, 不同作物标准曲线会有差异, 但是只要符合比耳定律, 都是有效的。

3.3 木薯样品淀粉组分的测定

实验数据表明, 该方法对木薯淀粉样品的测定重复性好, 因此是准确有效的。淀粉中一般直链淀

粉含量在 25% 左右, 支链淀粉含量在 75% 左右。古碧等^[2]采用单波长法, 在 620 nm 处对 79 份木薯品种(系)的直链和支链进行了测定, 结果表明, 直链淀粉含量在 15.52%~25.02%, 支链淀粉 74.98%~84.48%。其中 SC6 直链淀粉含量 20.06%, 直链淀粉 79.94%, SC8 直链淀粉含量 18.27%, 直链淀粉 81.73%。本实验中 SC6 不同转基因株系直链淀粉含量 15.494%~24.726%, 支链淀粉含量变化范围 44.292%~57.465%, SC8 不同转基因株系的直链淀粉含量变化范围: 14.879%~21.905%, 支链淀粉含量变化范围: 47.864%~56.955%。折算成百分比的含量则是: SC6 不同转基因株系直链淀粉含量 22.600%~33.681%, 支链淀粉含量为 67.854%~77.400%, SC6 直链淀粉含量为 22.600%; SC8 不同转基因株系直链淀粉含量为 23.800%~30.906%, 支链淀粉含量为 69.094%~76.200%, SC8 直链淀粉含量为 23.800%。测定方法不同, 样品取样时间和栽培地点不同, 管理方法不同, 测定结果会有差异。因此, 在取样时最好根据实验目的来确定木薯样品的收获时间。尤其是在试验开始设计时就要综合考虑这些影响因素。本研究是在查阅大量文献的基础上确定双波长法测定木薯淀粉组分, 从结果和重复性及操作上来看, 该方法是有用的。是否有更有效的测定方法有待下一步做全面系统的测定方法比较实验。

4 结论

采用双波长比色方法对 30 份木薯不同株系的直链淀粉和支链淀粉的含量进行了测定, 根据碘分别与直链淀粉和支链淀粉反应生成的复合物吸收光谱的不同, 确定了 30 份木薯的直链淀粉和支链淀粉参比波长和测定波长分别为 609 和 469.5 nm, 542 和 721 nm。根据回归方程得到了 30 份木薯不同株系的直链淀粉和支链淀粉含量。本实验中木薯的直链淀粉的浓度在 0~26 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 支链淀粉浓度在 0~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内符合比耳定律, 由回归方程计算得到了木薯直链和支链淀粉含量。16 份木薯 SC8 不同株系的直链淀粉含量变化范围: 14.879%~21.905%, 支链淀粉含量变化范围: 47.864%~56.955%; 14 份木薯 SC6 不同株系的直链淀粉含量变化范围: 15.494%~24.726%, 支链淀粉含量变化范围: 44.292%~57.465%。

致谢 感谢赖丁王、徐林在标准样品的制备和淀粉组分测定中做的大量工作。

参考文献

[1] 王亚静, 毕于运, 唐华俊. 中国能源作物研究进展及发展

趋势[J]. 中国科技论坛, 2009(3): 124-129.

- [2] 古碧, 李开绵, 李兆贵, 等. 不同木薯品种(系)块根淀粉特性研究[J]. 热带作物学报, 2009, 30(12): 1876-1881.
- [3] Grant L A, Ostenson A M, Bayas Duarte P. Determination of amylose and amylopectin of wheat starch using high performance size-exclusion chromatography(HPSEC)[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(6): 771-773.
- [4] 华东理工大学化学系. 分析化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 263-264.
- [5] Martinez C, Jacques P. Determination of amylose in cereal and non-cereal starches by a colorimetric assay: collaborative study[J]. Collaborative Study, 1996, 48(3): 81-85.
- [6] 陈旭红. 旋光法测定木薯粗淀粉的含量[J]. 食品工业科技, 2000, 2(2): 64-65.
- [7] 许冬青, 彭黔荣, 杨敏, 等. 烟草中淀粉测定方法研究现状与探讨[J]. 耕作与栽培, 2011(3): 54-56.
- [8] 戴双, 程敦公, 李豪圣, 等. 小麦直、支链淀粉和总淀粉含量的比色快速测定研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 442-447.
- [9] 金玉红, 张开利, 张兴春, 等. 双波长法测定小麦及小麦芽中直链、支链淀粉含量[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 137-140.
- [10] 王春霞, 孙领霞, 刘满英. 双波长分光光度法测定河北省多种粮豆作物中直、支链淀粉含量[J]. 光谱实验室, 1999, 16(3): 259-261.
- [11] 刘向农, 余碧钰. 双波长分光光度法测定银杏果仁中直链淀粉和支链淀粉[J]. 光谱实验室, 2000, 17(5): 506-509.
- [12] 范明顺, 张崇玉, 张琴, 等. 双波长分光光度法测定高粱中的直链淀粉和支链淀粉[J]. 中国酿造, 2008(21): 85-87.
- [13] 加列西·马那甫, 景伟文, 削合来提·再丁. 双波长法测定谷类和豆类作物籽粒中直链和支链淀粉的含量[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(3): 564-568.
- [14] 何照范. 谷物中直、支链及总淀粉的双波长测定法[J]. 生物化学与生物物理进展, 1981, 1: 70-72.
- [15] 黄惠芳, 罗燕春, 侯学文, 等. 不同样品分散温度对双波长比色法测定木薯直、支链淀粉比率及总淀粉含量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(3): 272-276.
- [16] Gray J, Picton S, Shabber J, et al. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense RNA[J]. Plant Mol Biol, 1992, 19: 69.
- [17] Visser R G F, Somhorst I, Kuipers G J, et al. Inhibition of the expression of the gene for granule-bound starch synthase in potato by antisense constructs[J]. Mol Gen Genet, 1991, 225(2): 289-296.
- [18] Salehuzzaman S, Jacobsen E, Visser R. Isolation and characterization of a cDNA encoding granule-bound starch synthase in cassava and its antisense expression in potato[J]. Plant Mol Bio, 1993, 23: 947-962.
- [19] 王丕武, 高玮, 关淑艳, 等. 转淀粉分支酶反义基因(*sbe2b*)玉米直链淀粉含量的变异分析[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 415-418, 426.
- [20] 熊宁, 刘坚, 袁建, 等. GB/T15683-2008大米直链淀粉含量的测定[S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2008.

责任编辑: 黄艳