

花叶木薯变种和木薯栽培种 ZM-Seaside 叶片光合参数及蛋白组学分析

宋雁超^{1,2}, 姚 惠^{2,3}, 吕 亚², 李开绵², 朱文丽², 陈松笔²

(¹海南大学农学院, 海口 570228; ²中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业部木薯种质资源
保护与利用重点实验室, 儋州 571737; ³华中农业大学植物科学与技术学院, 武汉 430070)

摘要:为研究木薯叶片光合效率对块根产量的影响,本研究利用蛋白质组学方法分析花叶木薯变种(低产种质)和栽培种 ZM-Seaside(高产种质)光合作用能力的差异,揭示其鲜薯产量差异原因,为选育高产木薯品种提供基础数据。采用便携式 LI-6400 光合作用测定仪测定叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Cs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr),表明栽培种 ZM-Seaside 和花叶木薯变种叶片 Cs、Ci 和 Tr 没有显著差异,但 ZM-Seaside 的 Pn 显著高于花叶木薯变种;利用 Western Blot 技术分析叶片蛋白质表达水平,结果显示 ZM-Seaside 叶片与光合作用相关蛋白质 Rubisco、OEC 和 PRXQ 的表达水平显著高于花叶木薯变种;采用苯酚法提取叶片全蛋白质,并进行双向电泳分离,及 Delta2D 软件确定差异蛋白质点,以花叶木薯为对照,在 ZM-Seaside 叶片蛋白质双向电泳图谱上得到 20 个差异蛋白质点,其中上调表达 15 个,下调表达 5 个;通过 MALDI-TOF-MS 鉴定差异蛋白质,结合 KEGG 数据库将其按照功能进行分类,成功鉴定到其中 16 个涉及光合作用、碳和能量代谢、分子伴侣、结构蛋白、保护蛋白、解毒和抗氧化及未知功能蛋白质;利用 String 在线软件构建蛋白质互作网络,推测 Ribulose-5-phosphate-3-epimerase 和 chloroplast latex aldolase-like protein 是影响木薯叶片光合效率的关键蛋白质,由于它们的上调表达,对木薯块根产量提高有一定促进作用。

关键词:花叶木薯变种;栽培种 ZM-Seaside;光合参数;蛋白质组

The Analysis of Photosynthetic Parameters and Proteomics of Leaves from Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Mosaic-leaf Mutation and Cultivar ZM-Seaside

SONG Yan-chao^{1,2}, YAO Hui^{2,3}, LV Ya², LI Kai-mian², ZHU Wen-li², CHEN Song-bi²

(¹ College of Agriculture, Hainan University, Haikou 570228; ² Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources Ministry of Agriculture, Danzhou 571737; ³ College of Plant Sciences & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract: In order to indicate the influences of cassava leaf photosynthetic rate on roots yield in the present study, the proteomic methods was used to analyze the differences of photosynthetic capacity in both cassava genotypes ZM-Seaside (high yield) and mosaic-leaf mutation (low yield) to reveal the different reason of their root yield and provide theoretical basis for the selection of high yield cassava varieties. The leaf net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Cs), intercellular CO₂ concentration (Ci), transpiration rate (Tr) were measured using the portable analyzer LI-6400. The results showed that leaf Cs, Ci and Tr in both genotypes were not significantly different, while Pn in ZM-Seaside was significantly increased more than that of mosaic-leaf mutation. Western blot analysis used to determine the level of leaf protein expression, revealed that the expression of Rubisco, OEC and PRXQ,

收稿日期: 2016-05-03 修回日期: 2016-06-23 网络出版日期: 2016-08-12

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160812.1316.010.html>

基金项目: 2012 年海南省创新创业人才启动基金; 国家科技支撑项目 (2015BAD15B01)

第一作者研究方向为作物分子育种。E-mail: 909314893@qq.com

通信作者: 陈松笔, 研究方向为木薯分子育种和蛋白质组学。E-mail: songbichen@catas.cn

related with photosynthetic pathway, was significantly higher in ZM-Seaside than that of mosaic-leaf mutation. Leaf global proteins were extracted by phenol extraction, and then were separated using two-dimensional electrophoresis. Delta 2D software was used to determine the differentially expressed proteins. Twenty different protein spots were detected in the leaves of ZM-Seaside compared with mosaic-leaf mutation, of which 15 were up-regulated, 5 was down-regulated. The differentially expressed proteins were identified using MALDI-TOF-MS in combination with the KEGG database to classify proteins according to their functions. Sixteen protein spots were successfully identified, in which they involved in photosynthesis(3), carbohydrate and energy metabolism(4), chaperones(2), structure(2), defense(1), detoxifying and antioxidant(2), and unknown functions(2). Using String online software to construct protein-protein interaction network showed that Ribulose-5-phosphate-3-epimerase and chloroplast latex aldolase-like protein were theorized as key proteins to affect photosynthetic rate of cassava leaves. The root yield of cassava ZM-Seaside was improved probably based on their up-regulation in leaves.

Key words: Mosaic-leaf Mutation; ZM-Seaside; photosynthetic parameters; proteomics

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 原产美洲热带, 是大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属 (*Manihot* Miller) 灌木状多年生植物, 在全世界热带地区广为种植^[1]。木薯于 19 世纪 20 年代引入我国^[2], 现已广泛分布于华南地区, 是我国南部地区重要的淀粉工业原料和潜在的粮食安全有效补充^[3]。

木薯栽培种虽是 C_3 植物, 但具有 C_4 植物的酶系, 因此具有高光效和高干物率的特点。目前高产稳产品种的选育仍是木薯育种的重要目标之一, 而木薯基因组杂合度高, 为 3.4 ~ 3.8 SNV/kb, 高于竹子 (1.0 SNV/kb)、桃树 (1.5 SNV/kb) 和杨树 (2.6 SNV/kb) 等植物^[4], 后代性状分离严重, 导致传统选育种周期长, 一般 7 ~ 8 年。如何发掘与高光效和高产相关的关键基因及其蛋白质、提高木薯选育种效率是木薯育种学家普遍关注的问题之一。吕亚等^[5]通过研究木薯叶片与光合作用日变化相关的差异蛋白质, 发现与光合作用相关的关键蛋白质包括 ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, rubisco subunit binding-protein alpha subunit, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activase 和 D1 蛋白质, 这些蛋白质在 3:00 pm 的表达水平最高, 且与净光合速率的变化趋势一致。宋红艳等^[6]报道木薯栽培种华南 8 号 (SC8) 和野生近缘种 W14 叶片胞间 CO_2 浓度 (Ci) 和蒸腾速率 (Tr) 没有显著性差异, 但栽培种 SC8 的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Cs) 显著高于 W14, 并且 SC8 与光合作用相关的蛋白质 Rubisco、OEC 和 D1 的表达水平均高于 W14。

花叶木薯变种是中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所从位于哥伦比亚的国际热带农业中心 (CIAT) 引进的特异种质, 因其叶片中央有不规则的黄色斑块, 故称花叶木薯。花叶木薯植株较普通

栽培种矮小, 块根产量不高; 而栽培种 ZM-Seaside 是中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所木薯团队在海南省海滩发现的一种木薯种质, 该木薯种质产量高, 氢氰酸含量低, 可食用, 具有较强的抗螨能力。为从分子水平研究木薯叶片高光效与高块根产量的关联性, 本研究选用低产种质花叶木薯为对照, 从全蛋白质水平研究高产种质 ZM-Seaside 叶片高光效促进块根高产的原因, 通过挖掘高产高光效关键基因进而研究其涉及的蛋白质代谢通路, 为选育丰产木薯品种提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验研究材料高产栽培种质 ZM-Seaside 和低产种质花叶木薯变种均来自中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所儋州农业部木薯种质资源圃^[7]。选取的木薯叶片均为种植 6 个月后完全展开的功能叶, 木薯种植 10 个月后收获。

1.2 方法

1.2.1 光合特性的测定 选取木薯栽培种 ZM-Seaside 和花叶木薯变种健康植株顶端第 4 片完全展开功能叶, 应用美国 LI-COR 公司生产的便携式光合仪 Li-6400 于上午 10:00 测定叶片的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Cs)、胞间 CO_2 浓度 (Ci) 和蒸腾速率 (Tr)。试验设定内置光源强度为 $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, CO_2 浓度为 500 mmol/L。每个处理选取植株 3 株, 每株选取叶片 3 片, 重复读数 3 次^[8]。

1.2.2 木薯叶片蛋白质表达水平的分析 利用 Western Blot 方法对 3 种与光合作用相关的蛋白质 Rubisco (该多克隆抗体购买于 Agrisera 公司, 货号: AS07218, 分子量: 53 ~ 55 KDa)、OEC (该多克隆抗

体购买于 Agrisera 公司,货号:AS05092,分子量:33 KDa)和 PRXQ(该多克隆抗体购买于 Agrisera 公司,货号:AS05093,分子量:16 KDa)进行表达水平分析,用 Actin(该多克隆抗体购买于 Agrisera 公司,货号:AS132640,分子量:45 KDa)作为对照^[9]。

1.2.3 木薯叶片全蛋白质的提取、分离和鉴定 木薯叶片全蛋白质的提取采用 S. Chen 等^[10]苯酚提取法,溶解后用 Bradford 试剂盒进行定量,后参照 S. Chen 等^[10]双向电泳技术将蛋白质进行分离。以 ZM-Seaside 叶片全蛋白质图谱为对照,采用 Delta2D 软件确定花叶木薯变种叶片的差异蛋白质点,对平均差异表达量在 ± 2.0 以上的蛋白质进行标记^[11]。蛋白质的鉴定参照 F. An 等^[12]方法。

1.2.4 木薯蛋白质互作网络构建 采用 String 软件对鉴定出的差异蛋白质构建蛋白质互作网络^[13]。

1.3 数据统计分析

本文数据处理及统计学分析采用 Excel 2010 和 DPS v7.55 软件,差异显著性分析采用新复极差法

(Duncan)^[14-15]。

2 结果分析

2.1 木薯功能叶片形态特征分析

由图 1A 可见,花叶木薯变种叶片呈掌状深裂,披针形,全缘,叶柄红色。叶片中央有大面积不规则的黄色斑块^[16]。栽培种 ZM-Seaside 叶片掌状深裂,披针形,全缘,叶片呈全绿色,叶柄绿色^[17],没有任何黄色斑块(图 1B)。

2.2 木薯叶片光合特征及贮藏根产量分析

花叶木薯变种和 ZM-Seaside 叶片 P_n 、 C_s 、 C_i 和 Tr 光合特征及贮藏根单株产量详见表 1,虽然 2 个木薯种质 C_s 、 C_i 及 Tr 没有显著性差异,但 ZM-Seaside 叶片的净光合速率显著高于花叶木薯变种($P < 0.05$)。此外,种植 10 个月后花叶木薯变种的鲜薯单株产量远远低于栽培木薯 ZM-Seaside。由此可见,2 种木薯叶片的光合作用能力不同导致其鲜薯产量有显著性的差异。



图 1 花叶木薯变种(A)及 ZM-Seaside(B)功能叶片
Fig. 1 Functional leaves of cassava mosaic-leaf mutation(A) and cultivar ZM-Seaside(B)

表 1 花叶木薯变种和 ZM-Seaside 叶片光合特性

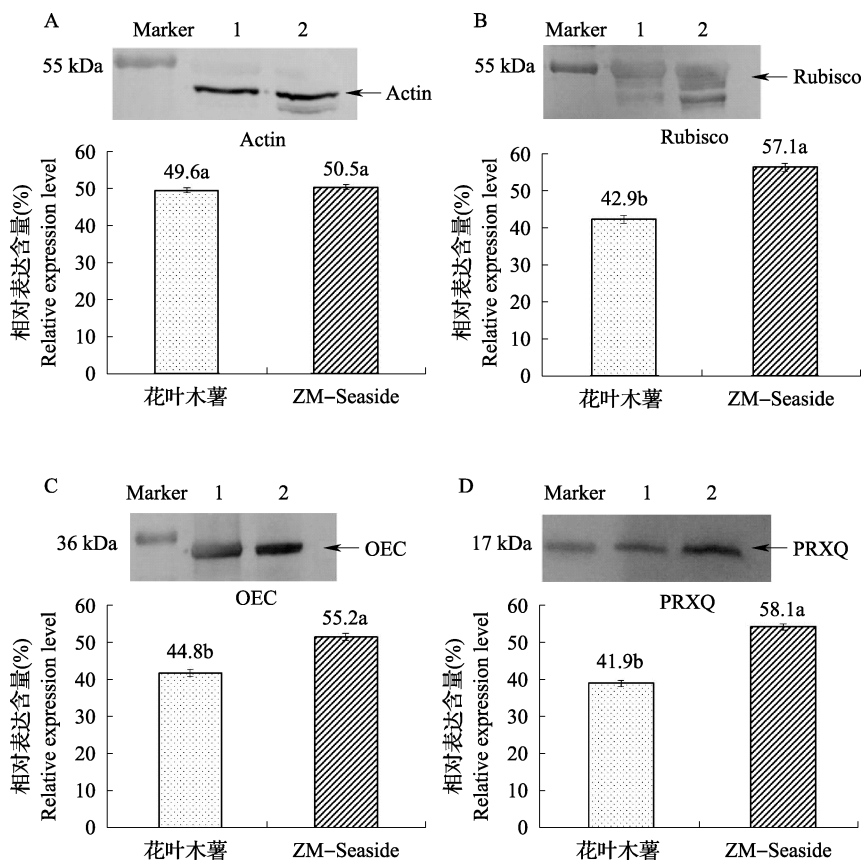
木薯种质	净光合速率(P_n)	气孔导度(C_s)	胞间 CO_2 浓度(C_i)	蒸腾速率(Tr)	鲜薯单株产量(kg)
Cassava varieties	Net photosynthetic rate	Stomatal conductance	Intercellular CO_2 concentration	Transpiration rate	Fresh root yield per plant
花叶木薯变种					
Mosaic-leaf mutation	$12.53 \pm 0.49a$	$0.42 \pm 0.22a$	$332.67 \pm 18.00a$	$10.72 \pm 0.82a$	$0.35 \pm 0.22a$
ZM-Seaside	$29.16 \pm 0.55b$	$0.75 \pm 0.10a$	$301.33 \pm 10.02a$	$14.23 \pm 0.40a$	$5.46 \pm 1.68b$

同一列内标有不同小写字母的值表示在 0.05 水平上差异显著
Values followed by small alphabets in the same column represent significantly difference at the 0.05 probability level

2.3 与光合作用相关蛋白质表达分析

为了进一步揭开花叶木薯变种低光合效率的分子机理,本研究利用 Western blot 方法研究与叶片光合效率相关蛋白质 Rubisco、OEC 和 PRXQ 的表达水平。采用 Actin 作为对照,确保花叶木薯变种和 ZM-Seaside 叶片蛋白质的上样量一致(图 2A)。研究结

果表明 ZM-Seaside 叶片 Rubisco(图 2B)、OEC(图 2C)和 PRXQ(图 2D)的表达水平显著高于花叶木薯变种($P < 0.05$)。该研究结果与木薯叶片光合特征的分析结果相一致,因而可从与光合作用相关的蛋白质表达水平进一步验证 2 种木薯叶片光合效率的差异。



Marker: 蛋白质分子标记; 列 1: 花叶木薯变种; 列 2: ZM-Seaside

Marker: Protein labeling, Line 1: Mosaic-leaf mutation, Line 2: ZM-Seaside

图 2 Western blot 分析 Actin (A)、Rubisco (B)、OEC (C) 和 PRXQ (D)

在花叶木薯变种及栽培种 ZM-Seaside 叶片中的表达水平

Fig. 2 Western blot analysis of leaf proteins extracts using antiserum raised against Actin (A), Rubisco (B), OEC (C) and PRXQ (D) in cassava mosaic-leaf mutation and cultivar ZM-seaside

2.4 木薯叶片全蛋白质的提取、分离和鉴定

通过苯酚沉淀法提取蛋白质,后通过双向电泳将蛋白质进行分离,经染色后,得到重复性较好的 ZM-Seaside 及花叶木薯变种叶片蛋白质双向电泳图谱(图 3A 和 3B)。以花叶木薯变种为对照,经过 Delta 2D 软件分析,得到平均差异表达量在 2.0 倍^[10]以上的蛋白质点 20 个(图 3C),其中上调表达 15 个(黑色箭头所指),下调表达 5 个(白色箭头所指)。通过差异蛋白质点的质谱分析及 NCBI 数据库比对,匹配到 16 个蛋白质。这些差异蛋白质功能、序列号、等电点/分子量和表达量详见表 2。它们的生物学功能主要涉及光合作用、碳和能量代谢、分子伴侣、结构、保护、解毒和抗氧化等。

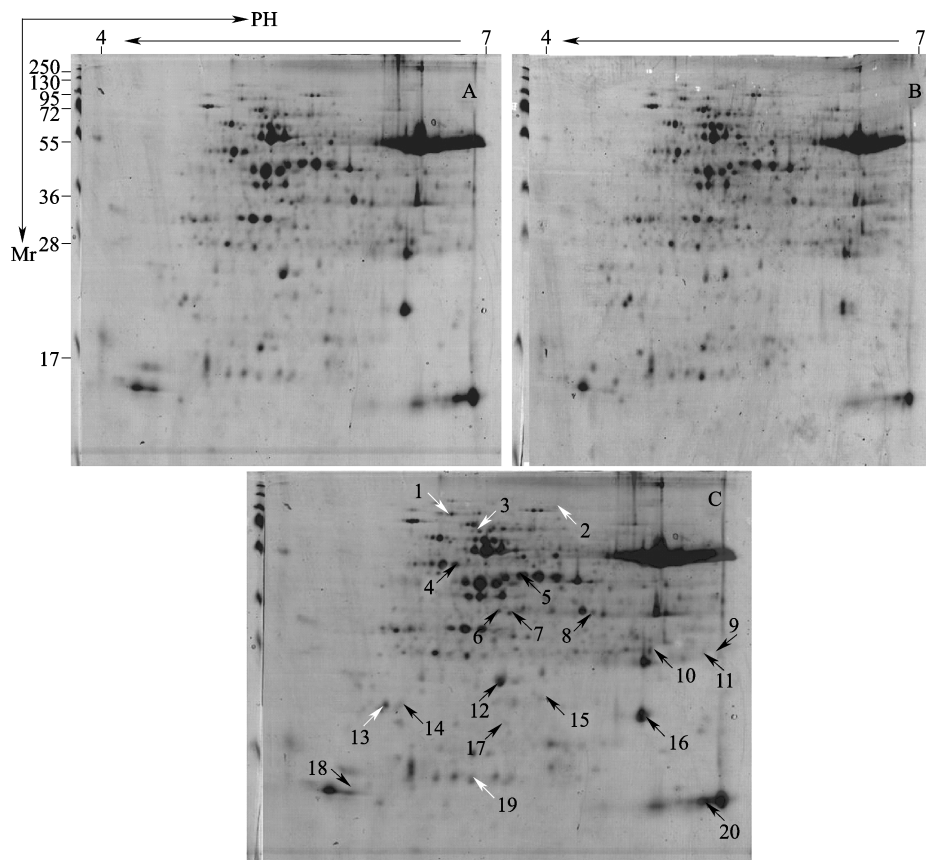
2.5 差异蛋白质互作调控网络的构建

图 4 显示差异蛋白质的互作网络包括 13 个蛋白质节点和 28 种蛋白质互作关系,其中互作最多的蛋白质是 Ribulose-5-phosphate-3-epimerase(点 9)和

chloroplast latex aldolase-like protein(点 12),均含 7 种蛋白质互作关系,且这 2 种蛋白质均上调。其次是 2-cys peroxiredoxin like protein(点 13,上调),含 6 种蛋白质互作关系,而 ATP synthase subunit beta(点 3,下调)、Ribulose-1,5-bisphosphate(点 4,上调)、carbonic anhydrase(点 10,上调)和 oxygen-evolving enhancer protein(点 16,上调)均含 5 种蛋白质互作关系。此外,与光合作用相关的 3 个蛋白质 Ribulose-1,5-bisphosphate、Ribulose-5-phosphate-3-epimerase 和 Oxygen-evolving enhancer protein 均上调(表 2),并且均有互作关系。

3 讨论

在木薯生长发育过程种,光合作用决定着贮藏根干物质的积累;而光合速率是评价木薯品种丰产性的重要指标。影响净光合速率的因素主要有 Cs、Ci 和 Tr 等,它们在光合作用过程中协同作用,使得



以花叶木薯变种为对照,黑色箭头表示上调,白色箭头表示下调

Cassava mosaic-leaf mutation was used as control. Black arrows indicated protein up-regulated and white arrows indicated protein down-regulated

图3 ZM-Seaside(A)及花叶木薯变种(B)叶片双向蛋白图谱及其叠加图(C)

Fig. 3 2-DE images of leaf proteins extracted from cultivar ZM-seaside(A) and cassava mosaic-leaf mutation(B) and their overlaid image(C)

光合作用顺利进行^[18]。本研究选用的花叶木薯变种和栽培种 ZM-Seaside 虽然在 Cs、Ci 和 Tr 间没有显著性差异,但因为它们的协同作用,导致 ZM-Seaside 的净光合速率显著高于花叶木薯变种。M. Mitprasat 等^[19]利用比较蛋白质组学方法监测从须根到贮藏根转变过程中叶片差异蛋白质的表达水平,发现木薯叶片代谢开关与触发/调节贮藏根发生和发育相关。前人研究表明 Rubisco 催化光合作用 CO₂ 固定的第一步反应,使 CO₂ 和二磷酸核酮糖(RuBP)转变成 2 个分子的 3-磷酸甘油酸,其表达水平变化,对净光合速率起着决定性作用^[6,20]。放氧复合体 OEC 是植物叶绿体光系统 II 的复合体,促进叶绿体光反应过程中氧化水分子释放出氧气^[6]。PRXQ 是一种胁迫蛋白质,它对光合作用中的氧化损伤起到保护作用^[12],在木薯同源四倍体叶片 PRXQ 的表达水平高于二倍体^[10]。本研究通过 Western blot 方法分析与花叶木薯变种和 ZM-Seaside 叶片光合作用相关蛋白质 Rubisco、OEC 和 PRXQ 的表达水平及差异蛋白质互作调控网络揭

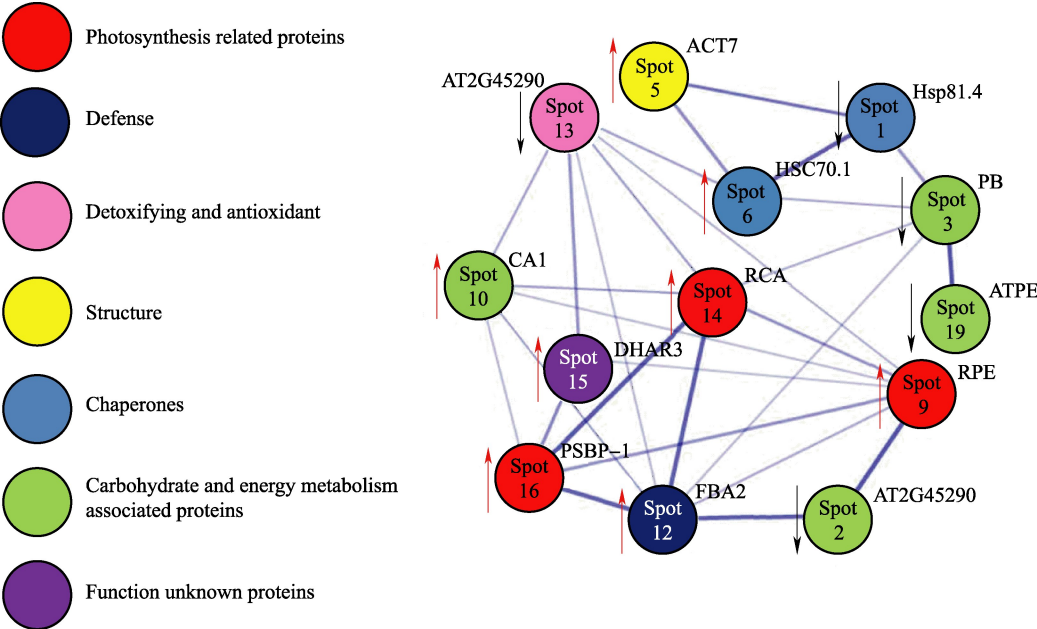
示木薯叶片高光效与其鲜薯产量密切相关。

本研究以花叶木薯变种为对照,利用比较蛋白质组学方法研究栽培种 ZM-Seaside 叶片的全蛋白质变化,成功鉴定出 16 个差异蛋白质中,11 个上调表达,5 个下调表达,其中与光合作用相关的差异蛋白质均上调表达。说明花叶木薯变种的光合速率小于 ZM-Seaside,这些结果与叶片光合特征的分析结果相一致。F. An 等^[12]利用蛋白质互作的生物调控网络揭示了木薯同源四倍体叶片比二倍体高光效及抗胁迫的分子机理。F. An 等^[21]通过 Pathway Studio 软件构建栽培种和野生种叶-根全蛋白质互作生物调控网络揭示光合作用和淀粉积累代谢通路的交叉应答关系。本研究利用 String 在线软件构建差异蛋白质互作的生物调控网络揭示了光合作用代谢通路的调控关系。在整个互作调控网络中参与光合作用的 Ribulose-5-phosphate-3-epimerase 和涉及保护作用的 chloroplast latex aldolase-like protein 互作关系最多,推测这 2 种蛋白质是整个互作调控网络的关键蛋白质。以花叶

表 2 花叶木薯变种与栽培木薯 MZ-Seaside 叶片差异蛋白质的鉴定

Table 2 Identification of differentially expressed proteins extracted from leaves of cassava mosaic-leaf mutation and cultivar ZM-seaside

序号 No.	功能/名称 Function/Name	序列号 Gi number	理论等电点/分子量 Theoretical pI/Mw	差异量(均值标准差) Fold changes (Mean ± SE)
<i>Photosynthesis related proteins</i> (3) 光合作用				
4	Ribulose-1,5-bisphosphate 1,5 核酮糖异构酶	AAG61121	5.06/48.35	2.0 ± 0.01(+)
9	Ribulose-5-phosphate-3-epimerase, putative- <i>R. communis</i> 3,5 核酮糖异构酶	EEF47836	9.71/28.21	+ ∞
16	Oxygen-evolving enhancer protein 2, chloroplastic 叶绿体放氧增强蛋白	P16059	8.28/28.05	4.0 ± 0.18(+)
<i>Carbohydrate and energy metabolism associated proteins</i> (4) 碳能量代谢				
2	Transketolase, putative- <i>R. communis</i> 转酮醇酶	EEF50359	6.99/81.52	2.2 ± 0.03(-)
3	ATP synthase subunit beta, chloroplastic 叶绿体 ATP 合酶 β 亚基	P26530	5.15/53.47	2.3 ± 0.05(-)
10	Carbonic anhydrase- <i>Flaveria brownii</i> 碳酸酐酶	AAA86942	5.70/35.55	2.0 ± 0.05(+)
19	ATP synthase epsilon chain- <i>Androya decaryi</i> ATP 合成酶 ε 链	CAD22407	5.87/14.28	3.2 ± 0.12(-)
<i>Chaperones</i> (2) 分子伴侣				
1	Heat shock protein 82(HSP82)- <i>Oryza sativa</i> 热休克蛋白	CAA77978	4.99/80.19	-∞
6	Hsp70(AA 6-651)- <i>Petunia × hybrida</i> 热休克蛋白	CAA31663	5.06/70.78	4.0 ± 0.12(+)
<i>Structure</i> (2) 结构蛋白				
5	Actin- <i>Isatis tinctoria</i> 肌动蛋白	AAW63030	5.31/41.82	4.0 ± 0.09(+)
17	Kinesin heavy chain, putative- <i>R. communis</i> 驱动蛋白重链	EEF30221	8.58/99.95	+ ∞
<i>Defense</i> (1) 保护蛋白				
12	Chloroplast latex aldolase-like protein- <i>M. esculenta</i> 叶绿体乳胶醛缩酶样蛋白	AAV74407	6.54/34.02	2.0 ± 0.09(+)
<i>Detoxifying and antioxidant</i> (2) 解毒和抗氧化蛋白				
13	2-cys peroxiredoxin like protein- <i>H. orientalis</i> 半胱氨酸过氧化物酶样蛋白	AAT08751	4.93/21.86	2.266 ± 0.11(-)
14	Peroxioredoxins, putative- <i>R. communis</i> 过氧化物酶家族	EEF32207	8.61/29.40	+ ∞
<i>Function unknown proteins</i> (2) 功能未知蛋白				
11	Unnamed protein product- <i>M. esculenta</i> 未知蛋白	CBV34462	5.53/61.45	9.0 ± 0.23(+)
15	unknown- <i>P. trichocarpa</i> 未知蛋白	ABK94443	6.61/30.03	+ ∞



红色箭头表示上调,黑色箭头表示下调。蛋白质节点的连线表示 2 个蛋白质间的互动,粗线条表示强互动能力

Red arrows indicate up-regulated proteins, and black arrows indicated down-regulated proteins. The connection between two knots means protein-protein interaction. The bold line indicates the strong protein-protein interaction

图 4 差异蛋白质互动网络的构建

Fig. 4 Generation of protein-protein interaction network for differential proteins

木薯变种为对照,在栽培种 ZM-Seaside 叶片中这 2 个蛋白质均上调表达,因而从蛋白质互作水平揭示了花叶木薯变种光合速率低于 ZM-Seaside 的分子机理。这 2 个关键蛋白质有可能成为筛选叶片高光效和高块根产量木薯种质的标记蛋白质。

4 结论

本研究通过直接利用光合仪测定高产种质和低产种质木薯叶片的光合参数,确定这 2 种木薯叶片光合速率有较大差异,进而从全蛋白质水平揭示高产栽培种质 ZM-Seaside 叶片光合速率显著高于低产种质花叶木薯变种的分子机理。通过蛋白质互作调控网络推测光合作用和碳循环的蛋白质均参与多个代谢途径,它们使各个代谢通路的蛋白质紧密相连,构成一个相互作用的生物调控网络。本研究通过蛋白质互作调控网络筛选出的关键蛋白质有可能成为选育丰产木薯品种的标记蛋白质。

参考文献

- [1] Ribeiro M D N O, Carvalho S P D, Pereira F J, et al. Leaf anatomy of the cassava as related to potential for tolerance to different environmental conditions[J]. Rev Cienc Agron, 2012, 43(2):354-361
- [2] 单文启, 尚林梅, 王秀明. 海南省木薯的推广现状及其发展策略[J]. 热带农业工程, 2013, 37(3):15-19
- [3] 陈松笔, 安飞飞, 朱文丽, 等. 蛋白质组学在木薯育种中的应用[J]. 生物技术通报, 2015, 31(11):18-26
- [4] Wang W, Feng B, Xiao J, et al. Cassava genome from a wild ancestor to cultivated varieties[J]. Nat Commun, 2014, 5:5110
- [5] 吕亚, 安飞飞, 宋雁超, 等. 木薯叶片光合作用日变化的差异蛋白分析[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2016, 42(3):256-261
- [6] 宋红艳, 安飞飞, 杨龙, 等. 木薯野生近缘种 W14 与栽培种 SC8 的光合参数及相关蛋白质表达水平分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(5):933-936
- [7] 徐娟, 黄洁. 自然低温条件下木薯种质出苗率和株高的调查评价[J]. 广东农业科学, 2013, 40(1):16-18
- [8] Lv C G, Lei M, Yan S. Study on the diurnal changes of net photosynthetic rate and the impact factors of stevia rebaudiana bertonii in autumn[J]. Am J Plant Physiol, 2009, 4(1):18-23
- [9] Li K, Zhu W, Zeng K, et al. Proteome characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) somatic embryos, plantlets and tuberous roots[J]. Proteome Sci, 2010, 8:10
- [10] Chen S, Glazer I, Gollop N, et al. Proteomic analysis of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* IS-6 IJs under evaporative and osmotic stresses[J]. Mol Biochem Parasit, 2006, 145(2):195-204
- [11] 安飞飞, 凡杰, 李庚虎, 等. 华南 8 号木薯及其四倍体诱导株系叶片蛋白质组及叶绿素荧光差异分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(19):3978-3987
- [12] An F, Fan J, Li J, et al. Comparison of leaf proteomes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivar NZ199 diploid and autotetraploid genotypes[J]. PLoS One, 2014, 9(4):e85991
- [13] Khan S, Ahmad K, Alshammari E M A, et al. Implication of caspase-3 as a common therapeutic target for multineurodegenerative disorders and its inhibition using nonpeptidyl natural compounds[J]. BioMed Res Int, 2015, 175(2):235-244
- [14] 李永宏, 黄清臻. 新复极差法在生物统计中的应用[J]. 医学动物防制, 2002, 18(5):270-272
- [15] 关海宁, 刁小琴, 徐桂花, 等. Duncan 新复极差法优化特色“明目”花草茶工艺的研究[J]. 饮料工业, 2010, 13(6):30-33
- [16] 胡一民. 花叶木薯[J]. 花木盆景:花卉园艺, 2004(1):29
- [17] 周继中, 吴贡宝, 刘春平, 等. 吉安市木薯主要优良品种及高产栽培技术[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(22):62-63
- [18] 安飞飞, 简纯平, 杨龙, 等. 木薯幼苗叶绿体含量及光合特性对盐胁迫的相应[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3):500-504
- [19] Mitprasat M, Roytrakul S, Jiemsup S, et al. Leaf proteomic analysis in aassava (*Manihot esculenta*, Crantz) during plant development, from planting of stem cutting to storage root formation[J]. Planta, 2011, 233:1209-1221
- [20] Peretó J, Rubisco [M]//Gargaud M, Irvine W M, Amils R, et al. Encyclo pedia of Astrobiology. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015:1485
- [21] An F, Chen T, Stéphanie D M A, et al. Domestication syndrome is investigated by proteomic analysis between cultivated cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and its wild relatives[J]. PLoS One, 2016, 11(3):e0152154

欢迎订阅 2017 年《中国油料作物学报》

《中国油料作物学报》是由中国农业科学院油料作物研究所主办,科学出版社出版,全国唯一的一种有关油料作物的专业学术期刊。本刊分别于 2008 年、2011 年和 2014 年连续三届被评为中国精品科技期刊,多次被评为全国优秀农业期刊和湖北省精品期刊。载文被国内外 26 家重要数据库收录,如《CABAbstract》、《CA》、《WTI》、《AgrisInternational》、中国科技论文统计源期刊、CEPS 中文电子期刊(中国台湾)等。2015 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》公布的影响因子为 0.812,在 19 种农艺学期刊中,综合评价总分排列第 3 位。

本刊主要刊登油菜、大豆、花生、芝麻、向日葵、胡麻及其他特种油料作物有关品种资源、遗传育种、栽培生理、土壤植保、综合加工利用以及品质测试技术等方面的首创性研究论文、综述专论等,主要供农业科研、教学和农业技术人员查阅和参考。

双月刊,每期定价 25 元,全年 150 元,邮局即可订阅,邮发代号:38-13,国外发行:中国国际图书贸易有限公司,国外代号:BM6551,每期定价 20 美元,也可直接向本刊编辑部订阅。

地址:武昌徐东二路 2 号中国农业科学院油料作物研究所学报编辑部

邮编:430062

电话/传真:027-86813823

E-mail:ylxb@oilcrops.cn

网址:http://www.jouoilcrops.cn