

马铃薯高淀粉生理基础的研究

——叶片组织结构与淀粉积累的相关性

蒙美莲 门福义 刘梦芸 王俊平 马秀枝

(内蒙古农牧学院 呼和浩特 010018)

摘要 本文选用淀粉含量高低不同的 89273、农牧 7432-2、390363-18、388226-单 3、底西芮、紫花白、388221-2 七个品种(系)为材料,研究了马铃薯生育期间叶片组织结构变化与块茎淀粉含量的相互关系。结果表明:生育期间叶片肉总厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度与淀粉含量呈正相关关系,并在苗期和块茎增长期达到极显著或显著水平;栅栏组织细胞密度、海绵组织细胞密度与淀粉含量呈正相关关系,并在苗期和块茎形成期达到显著或极显著水平;叶片上下表皮气孔密度与淀粉含量呈极显著正相关;叶柄组织结构与淀粉含量没有明显的相关性。

关键词 马铃薯; 叶片; 组织结构; 淀粉

1 前言

马铃薯块茎中淀粉含量的高低除受气候、土壤、栽培管理等因素影响外,与马铃薯生育过程中各器官的形态解剖结构亦有着密切的关系。门福义等^[1]研究指出,马铃薯块茎淀粉含量与匍匐茎维管束横切面面积占匍匐茎横切面的百分比呈正相关。刘梦芸等^[2]研究指出,块茎淀粉含量与块茎皮层厚度呈显著正相关,与皮层区单位面积上的细胞数量呈显著正相关。本文将从叶片组织结构方面进一步探讨与块茎淀粉含量的相互关系,以期马铃薯高淀粉育种和栽培管理提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 试验材料

本试验选用 89273、农牧 7432-2、390363-18、388226-单 3、底西芮、紫花白、388221-2 七个品种(系)为材料。各供试材料的基本情况见表 1。

表 1 各供试品种基本情况

品种(系)	熟期	淀粉含量(%)
89273	中晚熟	18.91
农牧 7432-2	中晚熟	17.66
390363-18	中晚熟	16.38
388226-单 3	中晚熟	15.72
底西芮	中晚熟	12.63
紫花白	中熟	12.59
388221-2	中晚熟	11.74

2.2 田间设置

本试验于 1997 年在内蒙古农牧学院教学农场进行。7 个品种 (系) 随机排列, 3 次重复。小区面积 $2.5\text{ m} \times 6.1\text{ m} = 15.25\text{ m}^2$, 行距 0.5 m, 株距 0.3 m, 密度 66000 株/hm²。每小区种 5 行, 每行 18 株。5 月 4 日播种, 其它栽培管理同生产田。

2.3 取样及测定方法

2.2.1 取样

全生育期共取样 4 次, 即于幼苗期 (6 月 22 日)、块茎形成期 (7 月 1 日)、块茎增长期 (7 月 15 日)、淀粉积累期 (8 月 29 日) 各取样一次。每次小区取生长健壮且处于生育时期的植株 4 株, 每个品种共取样 12 株。每株取顶部完全展开叶倒数第 4 片复叶。用顶小叶中脉一侧中部 1 cm² 见方的叶片测定叶片组织结构和表皮气孔密度, 取复叶距下一片复叶之间 1 cm 长的一段叶柄测定叶柄组织结构。收获时取样测定块茎淀粉含量。

2.3.2 测定方法^[3]

叶片组织结构: 把取下的样品置于 FAA 固定液中固定, Feilz 1700 型冰冻切片机制片, 固绿染色, 镜检测量。每个品种

(系) 测量 6 个叶片, 每个叶片测定 5 个视野, 以下各解剖结构相同。

叶片表皮气孔密度: 用火绵胶剥取, 固绿染色, 镜检测定。

叶柄组织结构: 徒手切片, 番红染色, 镜检测定。

叶柄直径和长度: 用游标卡尺测定。

淀粉含量: 用比重法测定。

3 结果与分析

3.1 叶片组织结构与淀粉含量的关系

叶片是进行光合作用的主要器官, 是影响马铃薯植株生育、产量形成和淀粉积累最活跃的因素。叶片组织结构变化直接影响到对光和 CO₂ 的吸收以及光合能力的大小, 间接影响到产量和品质。

3.1.1 叶肉组织厚度与淀粉含量的关系 (见表 2)

从表 2 中可以看出, 马铃薯叶肉总厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度均随生育的推进逐渐减小, 各品种 (系) 均表现出相同的变化趋势。品种之间叶肉总厚度、栅栏组织厚度和海绵组织厚度大小顺序不完全与

表 2 马铃薯叶肉厚度与淀粉含量的关系* ($\times 7.14\mu\text{m}$)

品 种	22/6					1/7					15/7					29/8				
	M	P	S	P/MS/M	M	P	S	P/MS/M	M	P	S	P/MS/M	M	P	S	P/MS/M				
89273	33.18	13.98	19.20	0.42	0.58	29.25	11.92	17.33	0.41	0.59	25.28	10.80	14.40	0.43	0.57	22.39	9.82	12.57	0.44	0.56
农牧 7432-2	34.61	14.48	20.13	0.42	0.58	35.93	15.15	20.78	0.42	0.58	25.86	11.53	14.33	0.45	0.55	29.99	12.62	17.37	0.42	0.58
390363-18	-	-	-	-	-	35.60	13.39	22.22	0.38	0.62	28.08	10.75	17.33	0.38	0.62	27.70	11.05	16.65	0.40	0.60
388266-单 3	36.36	14.70	21.66	0.40	0.60	36.08	14.63	21.45	0.41	0.59	28.46	11.68	16.78	0.41	0.59	27.08	11.07	16.01	0.41	0.59
底西芮	42.88	19.08	23.80	0.44	0.56	45.84	18.99	26.84	0.41	0.59	34.01	13.97	20.04	0.41	0.59	34.68	15.25	20.12	0.44	0.56
紫花白	43.32	18.43	24.89	0.43	0.57	39.36	17.86	21.50	0.45	0.55	27.96	11.82	16.10	0.42	0.58	26.90	11.63	16.65	0.43	0.57
388221-2	40.50	15.83	24.67	0.39	0.61	35.71	14.24	21.50	0.40	0.60	29.20	13.10	16.10	0.45	0.55	28.49	11.84	16.65	0.42	0.58
r	-0.7843	*	-0.0348			-0.6951		-0.3456		-0.2667	-0.7826	*	-0.0812			-0.5255		-0.5003		-0.3167
	-0.9411	**	-0.9887	**	-0.0354			-0.6783		-0.2780	-0.7088	*	-0.5612		-0.0812			-0.5253		-0.0950

* M: 叶肉组织总厚度; P: 栅栏组织厚度; S: 海绵组织厚度

淀粉含量高低顺序一致, 但高淀粉的 89273 各生育时期叶肉总厚度、栅栏组织和海绵组织厚度始终低于低淀粉品系 388221-2。相关分析结果也表明, 各生育时期品种之间叶肉总厚度、栅栏组织和海绵组织厚度与淀粉含量呈负相关关系, 并在苗期和块茎增长期分别达到极显著和显著水平。这与用比叶面积表示叶肉厚度的结果相似 (本文未列)。由此表明, 叶肉厚, 则块茎淀粉含量就低。因此可以把叶肉厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度做为选育马铃薯高淀粉品种的重要参考指标。

另从表 2 中看出, 全生育期内叶片栅栏组织、海绵组织与叶肉厚度比值变化平缓, 而且海绵组织厚度与叶肉厚度比值大于栅栏组织厚度与叶肉厚度的比值, 各品种 (系) 表现出相同的变化规律。品种 (系) 之间各生育时期两种比值大小与块茎淀粉含量之间没有明显的相关规律。

3.1.2 叶肉细胞密度与淀粉含量的关系

全生育期内叶片栅栏组织细胞密度和海绵组织细胞密度均随生育的推进呈单峰曲线变化, 其峰值出现在块茎增长期至淀粉积累期。7 个品种 (系) 表现出相似的变化趋势。品种 (系) 之间各生育时期栅栏组织细胞密度和海绵组织细胞密度的大小顺序虽然并不完全与块茎淀粉含量高低顺序相一致, 但高淀粉的 89273 品系明显高于低淀粉的 388221-2 品系。相关分析结果表明, 叶片栅栏组织细胞密度和海绵组织细胞密度大小均与块茎淀粉含量呈正相关关系, 并在苗期和块茎增长期达到显著和极显著水平 (表 3)。这说明单位叶面积上叶肉细胞多, 细胞总表面积大, 接受太阳光能多, 进行光合作用, 形成和积累光合产物的能力强, 因而有利于淀粉的积累。因此把栅栏组织和海绵组织细胞密度做为选育马铃薯高淀粉品种的参考指标, 具有重要的理论意义和应用价值。

表 3 叶肉细胞密度与块茎淀粉含量的关系* (单位: 细胞个数/mm²)

品 种	22/6		1/7		15/7		29/8	
	PC	SC	PC	SC	PC	SC	PC	SC
89273	515.7	880.9	620.2	1076.5	758.0	1247.6	845.8	1210.3
农牧 7432-2	421.1	876.5	421.7	858.5	656.4	1126.7	529.6	850.9
390363-18	—	—	449.5	686.7	631.2	902.7	595.9	830.3
388226-单 3	421.5	755.0	417.3	808.1	624.4	1074.9	663.9	934.7
底西芮	284.6	702.3	323.0	579.3	492.3	880.3	408.4	820.2
紫花白	299.4	604.8	325.7	647.6	650.4	998.9	586.9	934.6
388221-2	396.1	800.2	369.9	586.2	614.6	875.4	564.6	890.3
r	0.8100*	0.7317*	0.8520**	0.9023**	0.6825	0.8029*	0.6309	0.5037

* PC: 栅栏组织细胞密度; SC: 海绵组织细胞密度

3.1.3 叶片表皮气孔密度与淀粉含量的关系

邵金旺等^[4]指出, 偏高糖甜菜品种的子叶气孔密度显著大于丰产型品种, 子叶气孔密度 (背面) 与根中含糖率呈显著正相关。本试验结果表明, 马铃薯叶片气孔密度下表皮显著多于上表皮。但无论是上表皮还

是下表皮, 品种之间气孔密度大小顺序与淀粉含量高低顺序完全一致, 气孔密度与淀粉含量呈 1% 水平的极显著正相关关系 (表 4)。说明在一定的条件下, 单位面积上气孔数量多, 则有利于叶内 CO₂ 浓度的提高, 从而有利于形成更多的光合产物。因此, 叶片上、下表皮气孔密度做为选育马铃薯高淀

粉品种的参考指标亦具有重要的理论意义和实践价值。

表 4 叶片气孔密度与淀粉含量的关系
(块茎增长期测定)(单位:个/mm²)

	89273	388266-单 3	紫花白	388221-2	r
上表皮	89	56	36	13	0.9814**
下表皮	265	165	103	51	0.9902**

3.2 叶柄组织结构与淀粉含量的关系

3.2.1 叶柄长度与淀粉含量的关系

从表 5 可以看出, 8927、农牧 7432-2、

390363-18、紫花白 4 个品种(系)叶柄的长度随生育进程的推移呈一单峰曲线变化, 即在块茎增长期达到最大值之后又略有减小, 388226-单 3、388221-2、底西芮 3 个品种(系)的叶柄长度则随生育推进逐渐增加。品种之间叶柄长度的大小顺序除 388226-单 3 和底西芮外, 与淀粉含量高低顺序完全相反, 即叶柄长度与淀粉含量呈负相关关系, 并在块茎增长期和淀粉积累期达到 5% 的显著水平。这是否与光合产物的输送能力、光合产物的消耗有关, 有待研究。

表 5 叶柄长度与淀粉含量的相关性 (单位: cm)

取样日期	89273	农牧 7432-2	390363-18	388226-单 3	底西芮	紫花白	388221-2	r
22/6	1.65	2.56	2.98	2.23	4.56	3.65	4.35	-0.6583
1/7	2.72	3.47	3.60	2.55	4.87	3.90	4.37	-0.6819
15/7	2.72	3.47	3.62	2.56	4.93	3.91	4.36	-0.7353*
29/8	1.91	3.45	3.43	2.93	5.18	3.34	4.98	-0.7516*

3.2.2 叶柄组织结构与淀粉含量的关系

马铃薯叶片制造的光合产物大部分通过叶柄、茎输送到新生的根、茎、叶和块茎中, 特别是生育后期主要输送到块茎中, 以淀粉的形式积累起来。因此叶柄的组织结构

与块茎淀粉含量似有密切的关系(见表 6)。

从表 6 中看出, 生育期间各品种叶柄直径的大小均随生育进程的推进, 呈平缓的单峰曲线变化, 即在块茎形成期最大, 之前和之后略小。品种(系)之间各时期叶柄直径

表 6 叶柄组织结构与淀粉含量的关系* (×7.14μm)

品 种	22/6				1/7				15/7				29/8																			
	d (cm)	e/d	f/d	p/d																												
89273	0.288	0.117	0.098	0.292	0.385	0.094	0.088	0.319	0.246	0.189	0.176	0.135	0.223	0.152	0.162	0.186																
农牧 7432-2	0.409	0.089	0.087	0.325	0.444	0.099	0.081	0.320	0.332	0.142	0.113	0.245	0.293	0.112	0.136	0.252																
390363-18	0.446	0.094	0.095	0.311	0.453	0.099	0.093	0.308	0.386	0.161	0.120	0.219	0.272	0.124	0.153	0.224																
388266-单 3	0.342	0.096	0.104	0.300	0.342	0.111	0.104	0.286	0.340	0.148	0.114	0.238	0.258	0.139	0.161	0.201																
底西芮	0.371	0.104	0.083	0.313	0.391	0.105	0.094	0.301	0.352	0.142	0.144	0.213	0.295	0.139	0.157	0.206																
紫花白	0.410	0.116	0.099	0.286	0.547	0.082	0.076	0.342	0.488	0.094	0.114	0.292	0.309	0.111	0.153	0.236																
388221-2	0.336	0.116	0.106	0.278	0.462	0.089	0.091	0.320	0.316	0.150	0.156	0.193	0.272	0.127	0.183	0.190																
r	-0.1430				-0.1623				-0.4451				0.0135				-0.4901				0.0590				-0.6762				-0.4977			
	-0.5623				-0.4031				0.3044				0.1257				0.6308				0.3983				0.4719				0.1365			

* d: 叶柄直径; e: 皮层宽; f: 维管束环宽; p: 髓部宽, 其值等于 (1/2) d-e-f

与淀粉含量呈负相关, 但均未达到显著水平。生育期间叶柄横切面上皮层、维管束环、髓部各部分所占叶柄直径的比例始终以髓部最大, 皮层和维管束环的相对大小则随生育时期不同而有差异。淀粉含量较高的品种(系), 在块茎增长期之前皮层占叶柄直径的比例大于维管束环所占比例, 之后则是维管束环所占比例大于皮层所占比例。淀粉含量较低品种(系), 则在块茎增长期之前维管束环所占比例就大于皮层所占比例。生育期间各品种(系)叶柄不同部分组织占叶柄直径的比例与块茎淀粉含量的相关分析结果表明, 皮层与叶柄直径比值与块茎淀粉含量在苗期呈负相关趋势, 以后各时期呈正相关趋势; 髓部与叶柄直径比值各时期与块茎淀粉含量均呈正相关趋势; 维管束环宽与叶柄直径比值在幼苗期和淀粉积累期与块茎淀粉含量呈负相关趋势, 在块茎形成期和块茎增长期呈正相关趋势, 但上述相关均未达到显著程度。因此可以认为叶柄组织结构与淀粉含量之间并不具有明显的相关规律。

4 小 结

4.1 叶肉厚度、栅栏组织厚度、海绵组织

厚度越厚, 则淀粉含量就越低, 二者之间呈明显的负相关关系, 并在苗期和块茎增长期达到极显著和显著水平。

4.2 叶片栅栏组织细胞和海绵组织细胞密度与淀粉含量呈正相关, 并在苗期和块茎形成期达到显著和极显著水平。

4.3 叶片下表皮气孔密度明显大于上表皮, 上、下表皮气孔密度与淀粉含量均呈显著的正相关关系。

4.4 叶柄长度与淀粉含量呈负相关, 但其剖面组织结构与淀粉含量不具有明显的相关规律。

4.5 叶肉总厚度、栅栏组织和海绵组织厚度、栅栏组织细胞和海绵组织细胞密度、叶片上下表皮气孔密度等形态解剖结构做为马铃薯高淀粉育种和品质预测的参考指标, 具有重要的理论意义和实践价值。

参 考 文 献

[1] 门福义, 郭淑敏, 刘梦芸等. 块茎淀粉含量与植株若干生理特性. 马铃薯杂志, 1993, 7 (1): 1~5
 [2] 刘梦芸, 宣俊亮, 赵富宝等. 块茎组织结构与淀粉积累的关系. 马铃薯杂志, 1994, 8 (3): 129~132
 [3] 郑国昌. 生物显微技术. 人民教育出版社, 1979
 [4] 邵金旺等. 甜菜生理学. 农业出版社, 1991, 125~126

STUDIES ON THE PHYSIOLOGICAL BASIS OF THE HIGH STARCH CONTENT IN THE POTATO TUBER

—RELATIONSHIP BETWEEN THE TISSUE STRUCTURE OF LEAF AND THE STARCH ACCUMULATION

Meng Meilian, Men Fuyi, Liu Mengyun, Wang Junping and Ma Xiuzhi

(Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry, Huhhot 010018)

ABSTRACT: We have studied the relationship of tuber starch content with the tissue structure of leaf in different growth stages, using different starch content cultivars or clones of potato of 89273, Nong Mu 7432-2, 390363-18, 388226-Singles3, Dessre, Zihuabai, 388221-2, in