

# 马铃薯器官生长发育与产量形成的研究

刘克礼<sup>1</sup>, 高聚林<sup>1</sup>, 张宝林<sup>2</sup>, 盛晋华<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010021)

**摘要:** 马铃薯叶面积、叶干重以及块茎干物重和块茎体积的变化动态均符合三次曲线变化, 地上茎干重、茎粗、株高符合S型曲线变化, 其中, 叶干重的峰值早于叶面积的峰值, 块茎体积的增长则在出苗后 55~70 d 内最快。马铃薯地上茎的生长主要是伸长与充实, 但伸长较充实缓慢、持续时间更长。匍匐茎与块茎的形成是马铃薯产量形成的前提条件, 二者的建成与植株其它器官的生长发育密切相关; 匍匐茎和块茎的形成与叶片和地上茎形成时期并进, 所以, 马铃薯块茎的建成与地上营养器官的生长发育存在着光合产物的竞争, 但地上部器官的建成依然是产量形成的物质基础。

**关键词:** 马铃薯; 器官; 生长发育; 产量

**中图分类号:** S532

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-3625 (2003) 03-141-05

## 1 前言

国内外关于马铃薯器官生长发育的研究报道较多<sup>[1~3]</sup>, 但仍有许多不足, 在某些方面缺乏深入系统。本文在多年研究的基础上, 较全面系统地阐述了马铃薯在适宜密度及氮磷钾肥配施下, 器官生长发育和产量形成的关系, 为进一步探索马铃薯高产的关键技术和集约化生产方案提供了科学依据。

## 2 材料与方 法

本试验于 1996~1997 年在内蒙古农业大学教学农场进行, 试验地为壤土, 土壤耕层 0~20 cm 内有机质含量为 2.43%, 全氮量为 0.132%, 碱解氮为 105 mg/kg, 速效磷为 41 mg/kg, 速效钾为 142 mg/kg, pH=7.7。

试验以脱毒薯底西芮为材料, 以实现单产 3000 kg/667m<sup>2</sup> 以上的优化栽培措施 (即密度 4500 株/667m<sup>2</sup>、施磷量 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 10 kg/667m<sup>2</sup>、施钾量 (K<sub>2</sub>O) 8 kg/667m<sup>2</sup>、种氮肥量 (N) 4 kg/667m<sup>2</sup>、追氮肥量 2 kg/667m<sup>2</sup>) 作为处理, 3 次重复。磷、钾及种氮肥在播种时一次性深施, 追肥于 6 月 24 日

进行, 其它管理与大田相同。

在苗期、块茎形成期、块茎增长初期、块茎增长后期、淀粉积累期和成熟期田间分别取样, 带回室内洗净凉干, 分器官称取鲜重, 再取小样于 80 °C 下烘至恒重后称取干重, 分别计算全株干重、各器官干重; 叶面积的测定用干重换算法, 用千分尺测定主茎直径, 用直尺测量株高, 用排水法测定块茎体积。

## 3 结果与分析

### 3.1 马铃薯叶片的生长发育

马铃薯在生育期间, 叶面积、叶干重及比叶重的变化见表 1。叶片是马铃薯光合系统的主要组成部分。由表 1 可知, 马铃薯单株叶干重、叶面积, 在整个生育期内均经历上升—稳定—衰退的过程: 从出苗到块茎增长后期, 马铃薯单株叶干重及叶面积一直处于上升期, 从块茎增长后期到淀粉积累期处于稳定期, 此后, 叶片的生长发育进入衰退期。在整个生育期内, 单株叶干重和叶面积均符合三次曲线变化 (图 1), 峰值出现在块茎增长后期。马铃薯出苗后, 叶片迅速发生, 出苗后 19 d (块茎形成期), 叶片干重已达最大干重的 1/4, 到出苗后 35 d (块茎增长初期), 已达最大叶干重的 60%, 此时, 单株叶面积也已达最大叶面积的 45%, 这是因为在马铃薯的生育前

收稿日期: 2003-4-20

作者简介: 刘克礼 (1937—), 男, 内蒙古农业大学教授, 主要从事作物生理生态与决策系统研究

期, 以茎叶生长为中心, 同化物主要用于光合系统的建成, 因此, 在苗期、块茎形成期和块茎增长初期, 分配到叶片的干物质分别占全株干重的 60%、50%和 40%以上。

马铃薯叶干重的增长速率的变化 (表 1), 从块茎形成期到块茎增长后期的 45 d 左右的时间内变化不大, 期间以块茎形成到块茎增长初期的增长速率为最大, 可达 0.698 g/株·d。叶面积的增长速率的变化虽然与叶干重的变化相似, 但最大叶面积增长速率持续时间较短, 出现较晚, 叶面积增长速率峰值出现在块茎增长中期, 达 215.99 cm<sup>2</sup>/株·d, 进入淀粉积累期后, 叶片开始衰退。从上可见, 马铃薯最大叶干重的建成要早于最大叶面积的形成, 叶干物质的积累为叶面积的形成

打下了物质基础。

在整个生育期内, 比叶重 (mg/cm<sup>2</sup>) 遵循二次曲线变化 (图 1)。比叶重以苗期为最高, 随着生育进程的推移, 比叶重逐渐下降, 到淀粉积累期达到最低谷, 此后又有所回升。比叶重的变化说明: 马铃薯生育初期形成的叶片较厚, 贮藏的物质较多, 此后功能叶片渐薄, 这是因为初期叶片中贮藏的物质为后生叶片的形成提供了物质营养, 以形成更大的光合面积来接受光能, 进行光合作用, 积累干物质, 用于器官的建成和物质的贮藏。到成熟期, 比叶重的升高, 是由于马铃薯自身的生育规律和外界环境因素的影响, 叶片功能逐渐降低, 叶片含水量降低, 干物质的相对增加造成的。

表 1 马铃薯生育期间单株叶片的生长发育变化

出苗后天数 (d)	叶片干重 (g/株)	叶干重增长速率 (g/株·d)	叶面积 (×10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> /株)	叶面积增长速率 (×10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> /株·d)	比叶重 (mg/cm <sup>2</sup> )
10 (苗期)	2.47	0.247	0.409	0.0409	6.04
19 (块茎形成期)	7.98	0.612	1.421	0.1124	5.62
35 (块茎增长初期)	19.15	0.698	3.918	0.1561	4.89
55 (块茎增长后期)	32.07	0.646	7.417	0.1750	4.32
75 (淀粉积累期)	31.83	-0.012	7.387	-0.0015	4.31
103 (成熟期)	16.33	-0.554	2.855	-0.1619	5.72

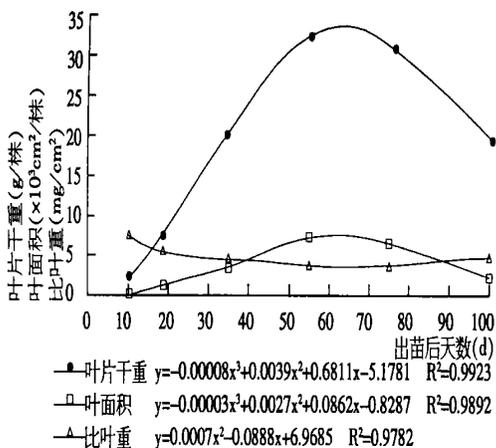


图 1 马铃薯生育期间单株叶片的生长发育动态

### 3.2 马铃薯地上茎的生长发育

马铃薯的株高、茎粗、地上茎干重的增长变化

(表 2, 图 2)。

马铃薯地上茎的生长在一生中都进行, 但到淀粉积累期以后, 其生长已很微弱。由图 2 可见, 马铃薯地上茎株高、茎粗、干重的增长动态极其相似, 均呈“S”形曲线。马铃薯出苗以前, 茎粗已有较大的生长量, 在苗期, 地上茎的直径可达最大直径的 50%以上, 在以后的大部分时间内, 地上茎的生长则主要是地上茎的伸长与充实, 因此, 地上茎的加粗生长早于其干物质的积累, 更早于其伸长生长。

地上茎干重增长最快的时间是块茎增长后期, 最大生长速率达 1.516 g/株·d, 而株高的最大生长速率保持的时间较长, 从块茎形成期到块茎增长结束, 株高的增长速率均保持在 1.3 cm/株·d 左右。

表2 马铃薯地上茎的生长发育变化

出苗后天数 (d)	地上茎干重		株高		茎粗	
	(g/株)	(g/株·d)	(cm)	(cm/d)	(cm)	(cm/d)
10 (苗期)	0.81	0.081	7.62	0.762	0.789	0.0789
19 (块茎形成期)	3.77	0.329	16.52	0.989	0.938	0.0955
35 (块茎增长初期)	17.71	0.871	39.16	1.415	1.287	0.0218
55 (块茎增长后期)	48.03	1.516	66.90	1.387	1.445	0.0079
75 (淀粉积累期)	57.12	0.455	92.70	1.290	1.484	0.0020
103 (成熟期)	57.74	0.022	97.17	0.160	1.485	0.0000

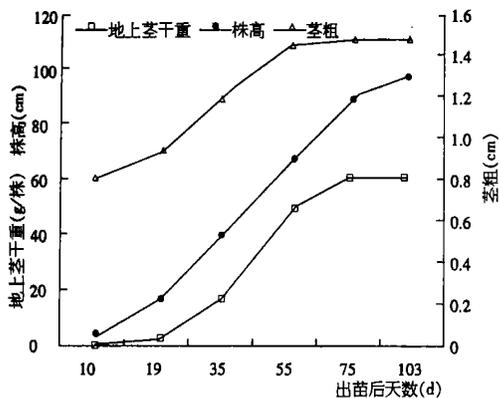


图2 马铃薯地上茎干重、株高和茎粗变化

1 cm 到 10 cm 甚至更长, 其顶端均有可能膨大。观察结果表明: 较长的匍匐茎很少形成块茎, 最终能够结薯的匍匐茎长度一般为 2~5 cm。

表3 马铃薯匍匐茎的生长发育

出苗后天数 (d)	匍匐茎条数 (条/茎)	匍匐茎干重 (g/株)	匍匐茎长度 (cm)
13	2.6	0.034	2.37
16	3.8	0.126	2.46
19	4.2	0.274	3.15
24	4.7	0.345	4.10
27	5.1	0.397	4.42
30	5.3	0.421	4.63

### 3.3 匍匐茎的生长发育

马铃薯匍匐茎生长发育的变化 (表 3)。对马铃薯匍匐茎研究观测结果表明, 马铃薯的匍匐茎在整个生长发育期间内均有发生, 但只有早期形成的匍匐茎才有可能形成商品薯, 后期形成的匍匐茎很少发生顶端膨大、结薯, 大部分匍匐茎处于弯钩状态时脱落消失。

马铃薯匍匐茎形成的数量、长度等变化 (表 3)。马铃薯出苗后一个月, 单茎上着生的匍匐茎数量平均已达 5.3 条, 而且保持着缓慢增长的趋势。已有的观察结果是发生顶端膨大的匍匐茎的长度变化不等, 从

### 3.4 块茎的生长发育

马铃薯块茎体积的增长及干重积累的变化 (表 4)。由表 4、图 3 可见, 马铃薯匍匐茎顶端膨大, 块茎形成, 则块茎的干物质积累始终呈递增趋势, 其积累过程符合三次曲线变化, 块茎形成期干物质积累较少, 进入块茎增长期干物质积累量直线增加, 直至成熟期, 块茎干重约占全株干重的 70% 左右。块茎干重增长速率前期较低, 进入块茎增长期迅速增加, 其增长速率为 2.595 g/株·d, 淀粉积累期到成熟期最快, 达 2.768 g/株·d。

表4 马铃薯块茎干重增长的变化

出苗后天数 (d)	10 (苗期)	19 (块茎形成期)	35 (块茎增长初期)	55 (块茎增长后期)	75 (淀粉积累期)	103 (成熟期)
块茎干重 (g/株)	0	2.94	5.90	34.95	86.85	164.35
干重增长速率 (g/株·d)	0	0.327	0.185	1.453	2.595	2.768

表5 马铃薯块茎体积的变化动态 (ml/株)

出苗后天数 (d)	19	29	35	41	45	52	55	62	69	75	87	103
块茎体积 (ml/株)	12.6	25.8	34.5	56.3	91.2	156.0	193.9	285.7	438.6	533.2	698.4	761.9
增长速率 (ml/株·d)		1.32	1.45	3.63	8.73	9.27	12.63	13.11	21.84	15.77	13.77	3.97

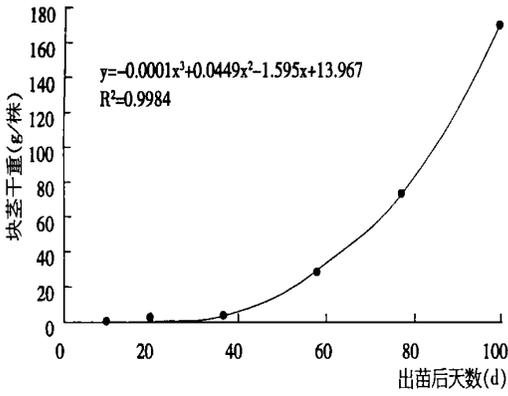


图 3 马铃薯块茎干重变化

马铃薯块茎体积的变化与块茎干物质积累的变化相似, 亦呈三次曲线变化 (图 4)。块茎形成初期, 体积增长较缓慢, 进入块茎增长中期后, 体积呈直线增长, 到淀粉积累期, 体积增长又逐渐减缓。块茎体积增长速率呈二次曲线变化 (图 5), 出苗后 55 d 以前, 块茎体积的增长速率较低, 出苗后 55~70 d 内, 块茎体积增长速率加快, 峰值出现在出苗后 70 d 左右, 接近成熟期, 增长速率又有所下降。

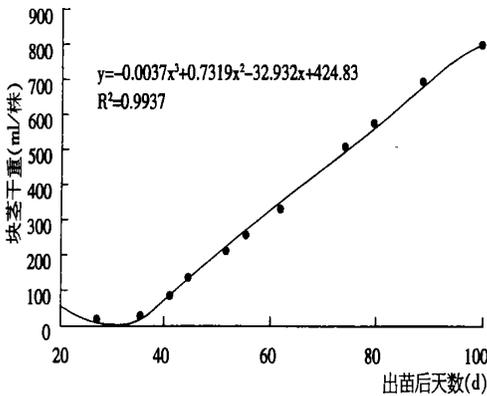


图 4 马铃薯块茎体积变化

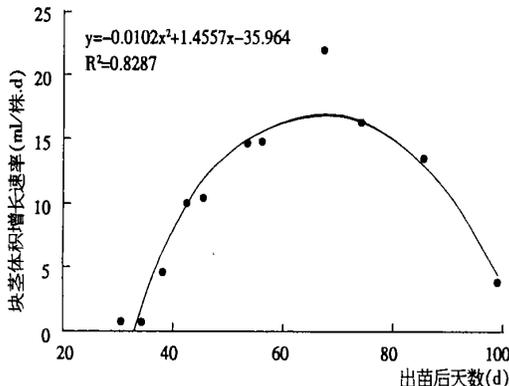


图 5 马铃薯块茎体积增长速率变化

### 3.5 马铃薯器官生长发育与产量形成的关系

匍匐茎与块茎的形成是马铃薯产量形成的前提条件, 而且二者的建成与植株地上茎叶器官的生长发育密切相关。

在一般情况下, 马铃薯植株形成的匍匐茎数量越多, 形成的块茎也就越多, 因为匍匐茎是块茎发育的高效运输器官, 对块茎的大小和分布起着决定性作用, 但匍匐茎数量的多少及其形成的块茎数量又受多种因素制约, 与光合源的大小及其光合产物的供应状况密切相关。通过对表 1、表 3 相关分析表明: 匍匐茎的数量与叶面积和叶干重均呈极显著正相关, 相关系数分别达, 0.772<sup>\*\*</sup> 和 0.854<sup>\*\*</sup>。

在马铃薯整个生长发育过程中, 同化产物的主要流向依次是新生叶片、地上茎和块茎。地下匍匐茎和块茎的形成期与地上茎叶器官的生长是并进的, 故匍匐茎和块茎的形成与地上茎、叶的生长存在着对光合产物的竞争。对表 1、表 2、表 3 数据进行马铃薯匍匐茎形成的数量与各器官干物质积累的通径分析, 结果见表 6。

表 6 马铃薯匍匐茎形成的数量与各器官干物质积累的通径分析

通径组合	直接通径系数 $P_{yX_i}$	间接通径系数 $\sum_j r_{ij}P_{y-j}$	$r_{y_i}$
叶干重 (X1) 对匍匐茎数量的直接效应	2.4267		
X1 通过 X2 的间接效应		-2.009	0.8478
X1 通过 X3 的间接效应		0.4301	
地上茎干重 (X2) 对匍匐茎数量的直接效应	-2.0188		
X2 通过 X1 的间接效应		2.4150	0.8327
X2 通过 X3 的间接效应		0.4365	
匍匐茎干重 (X3) 对匍匐茎数量的直接效应	0.5669		
X3 通过 X1 的间接效应		1.8410	0.8536
X3 通过 X2 的间接效应		-1.5540	

由表 6 可见, 地上茎干重对匍匐茎的影响是负效应 (直接通径系数为 -2.0188<sup>\*\*</sup>), 茎叶干重对结薯率的影响也是负效应 ( $R = -0.9294^{**}$ , 直接通径系数为 -1.0610<sup>\*\*</sup>), 而块茎干重与结薯率之间为极显著的正相关, 但茎叶干重通过块茎干重对结薯率的影响为极显著的正相关 ( $R =$

0.9875<sup>\*\*</sup>)。

通过以上分析表明, 匍匐茎和块茎的形成需要大量光合产物, 并与地上部生长存在营养竞争, 干物质分配到地下块茎越多, 越有利于块茎的建成, 但块茎的建成依赖于地上部所形成的光合产物供应状况, 地上部的光合器官的适度规模是产量形成的基础。

#### 4 结论与讨论

a. 马铃薯在高产群体条件下, 其一生中单株叶干重和叶面积的变化均符合三次曲线, 峰值出现在块茎增长后期。但是, 叶面积峰值晚于叶干重峰值, 说明马铃薯的叶面积增长是在一定物质基础上进行的。

b. 马铃薯株高、茎粗及茎干重的增长均呈S形曲线变化, 但茎粗增长较前, 其后主要是地上茎的伸长与充实, 且伸长较缓、持续时间较长。

c. 马铃薯匍匐茎在整个生长发育期间内均有发生, 但只有早期形成的匍匐茎才可形成商品薯, 后期形成的匍匐茎很少发生顶端膨大, 大部分处于弯钩状态时脱落消失。

d. 块茎形成后, 其干物重及体积一直处于递增状态, 二者均符合三次曲线变化。出苗后 50 d 以前, 块茎体积的增长一直处于缓慢增长期, 出苗后 55~70 d 内, 块茎体积增长较快, 接近成熟期, 增长缓慢。

e. 匍匐茎与块茎的形成是马铃薯产量形成的前提, 而且二者的建成与植株地上茎叶的生长发育密切相关。相关分析表明: 匍匐茎的数量与叶片数、叶面积和叶干重均呈极显著正相关。匍匐茎和块茎的增长与地上茎叶生长存在着对光合产物的竞争。但分析表明, 地上部茎叶器官的良好发育, 扩大光合源面积, 增加光合产物的积累, 依然是产量形成的物质基础。

#### 参 考 文 献

- [1] 门福义, 刘梦云. 马铃薯栽培生理 [M]. 中国农业出版社, 1995, 9.
- [2] [英] P. M. 哈里斯著, 蒋先明, 田玉丰, 赵越等译. 马铃薯改良的科学基础 [M]. 农业出版社, 1984, 72-184.
- [3] [美] F. P. 加德纳等著, 于振文等译. 作物生理学 [M]. 农业出版社, 1993.

## ORGAN DEVELOPMENT AND YIELD FORMATION IN POTATO

LIU Ke-li<sup>1</sup>, GAO Ju-lin<sup>1</sup>, ZHANG Bao-lin<sup>2</sup>, SHENG Ji-hua<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010021, China)

**ABSTRACT:** The dynamic change in leaf area is very similar to those in dry weight of leaves, dry weight of aboveground stem, plant height, stem thickness, and dry matter weight and size of tuber. The changes in all traits mentioned above can be described by using cubic polynomials. The peak of leaf dry matter appeared earlier than leaf area. The tuber size increased rapidly during the period of 55~70 days after emergence. The growth of aboveground stem was mainly due to the increase in the length and thickness of stem. The increase in length of stem was slower, but can be keep longer compared with in thickness. The formation of stolon and tuber played a key role in the determination of tuber yield, and the establishment of stolon and tuber was closely correlated to the growth and development of other plant organs. The period of formation of stolon and tuber was consistent with that of leaf and stem. The tubers and aboveground part competed for the photosynthate, but the establishment of aboveground part was still the material foundation for yield formation.

**KEY WORDS:** potato; organ; growth and development; yield.