

马铃薯群体光合系统参数的研究

张宝林¹, 高聚林², 刘克礼²

(1. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 0100181)

摘要: 马铃薯群体 LAI 呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎膨大中后期; NAR 的变化趋势和 LAI 不同, 即随着 LAI 的增加, NAR 呈二次曲线下降; 马铃薯群体 LAD 的变化在整个生育期内呈二次曲线变化。其最大叶面积持续期正处于块茎膨大和淀粉积累时期, 是马铃薯一生中干物质积累最多的时期; 马铃薯生产力的提高并非 NAR 的提高, 而是 LAD 的延长。

关键词: 马铃薯; 光合作用; 参数

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 1627-3635 (2003) 03-146-06

1 前言

马铃薯块茎产量的 95% 以上来自光合产物, 因此产量的高低与光合作用主要器官—叶面积的大小 (LAI)、叶片的工作效率 (NAR) 及叶片的工作时间 (LAD) 有密切关系^[1]。作物单产的高低, 不仅仅取决于出叶数及其光合能力, 更主要的是取决于叶面积的组成及其消长状况 (余德谦等, 1995)^[2], 在一定范围内, 马铃薯干物质及块茎产量随叶面积指数的增加而增加^[3,5]。光合势 (LAD) 也与产量密切相关, 因为较长时期地截获太阳辐射就意味着生产较多的干物质。Evans (1975) 的研究指出, 即使在气候、栽培措施和品种上存在很大差异, LAD 仍占作物产量变异因素的 1/2^[4], 尤其在作物的成熟后期, 叶片能否正常衰亡直接关系到贮藏器官中同化产物的积累。净同化率 (NAR) 可以用来表示作物群体的光合效率, 以往的研究认为, 高的 NAR 是高生物量的重要因素, 但很多作物尽管 NAR 较高, 而其生物量低, 关键是 LAD 值低。因此, 要获得作物高产, 在保持 NAR 中等的水平下, 应提高 LAD 值^[6]。本文研究了马铃薯群体光合系统三个主要的指标—

LAI、NAR 和 LAD 的消长动态, 分析了这些变化的生物学基础及它们之间的相关性, 以期改进马铃薯的栽培管理措施提供理论依据。

2 材料与方 法

2.1 试验地

本试验于 1996~1997 年在内蒙古农业大学教学农场进行, 耕层 0~20 cm 土壤有机质含量为 2.38%, 全氮量为 0.132%, 碱解氮为 104 mg/kg, 速效磷为 42 mg/kg, 速效钾为 151 mg/kg, pH 为 7.7。

2.2 试验设计

试验以脱毒薯底西芮为材料, 选取密度、施磷量、施钾量、种氮肥量及追氮量五项农艺措施作五因素三水平处理, 以未施肥区为对照, 共 12 个处理, 随机排列, 重复两次。试验处理及水平见表 1。每小区 15 行, 行距 50 cm, 小区面积 37.5 m², 每小区除去各二个边行外, 5 行留作测产, 6 行作为取样区, 磷、钾及种氮肥在播种时一次性侧深施, 追肥于 6 月 24 日进行, 其它管理与大田相同。

2.3 取样及测定方法

在苗期、块茎形成期、块茎增长初期、块茎增长后期、淀粉积累期和成熟收获期分别取样, 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、各器官干重以及 LAI、NAR 和 LAD。

收稿日期: 2003-4-20

表 1 五因素试验处理及水平

处理	密度 (株/667m ²)	施磷量 (P ₂ O ₅ kg/667m ²)	施钾量 (K ₂ O kg/667m ²)	种氮肥量 (纯 N kg/667m ²)	追氮肥量 (纯 N kg/667m ²)
高密度	6500	10	8	4	2
低密度	2500	10	8	4	2
高施磷	4500	20	8	4	2
未施磷	4500	0	8	4	2
高施钾	4500	10	16	4	2
未施钾	4500	10	0	4	2
高施种氮	4500	10	8	8	2
未施种氮	4500	10	8	0	2
高追氮	4500	10	8	4	4
未追氮	4500	10	8	4	0
优化 (中量处理组合)	4500	10	8	4	2
未施肥 (CK)	4500	0	0	0	0

3 结果与分析

3.1 叶面积指数 (LAI)

不同密度与施肥量处理下马铃薯 LAI 的变化均呈单峰曲线变化 (表 2、图 1)。由表 1 可见, 不同种植密度下, 最大 LAI 表现为: 优化 > 高密度 > 低密度 > 未施肥。高密度处理群体在生育前期能获得较大的 LAI, 但块茎增长后期后叶片衰退严重, 而低密度处理下, 由于群体过小, 明显表现出源的不足。优化处理群体则有较合理的 LAI 发展动态,

LAI 达峰值后, 叶片正常衰亡。

不同施磷量处理下, LAI 变化的差异更为明显。最大 LAI 表现为: 高磷 > 优化 > 未施磷 > 未施肥; 而且 LAI 达峰值以前, 高磷处理下的群体叶面积发展迅速, 具有较大的 LAI, 但在生育后期其 LAI 衰减较快, 未施磷和未施肥处理则表现出 LAI 较低。

不同施钾量处理下, LAI 的变化差异较小, 但未施钾处理下全生育期间 LAI 均较小, 最大 LAI 表现为优化 > 高钾 > 未施钾 > 未施肥。

表 2 不同密度与施肥处理下马铃薯 LAI 的变化

处理	出苗后天数									产量 (kg/667m ²)
	10	19	35	45	55	62	75	87	103	
高密度	0.38	1.00	2.60	3.51	5.46	5.82	4.52	3.25	1.58	3462
低密度	0.26	0.51	2.07	2.93	5.08	5.44	4.78	3.31	1.50	3127
高施磷	0.32	0.97	2.98	4.39	6.55	6.39	4.69	2.83	1.64	3378
未施磷	0.29	0.88	2.28	3.24	4.81	5.35	4.53	3.22	1.94	3322
高施钾	0.29	0.89	2.36	3.43	5.32	5.62	5.43	3.66	2.27	3389
未施钾	0.30	0.86	2.28	3.63	5.07	5.41	4.56	3.21	1.83	3345
高施种氮	0.26	1.08	2.46	3.83	5.94	6.22	4.77	3.41	1.35	3345
未施种氮	0.28	0.86	2.31	3.24	4.97	5.27	4.90	3.15	1.24	3211
高追氮	0.28	0.96	2.58	3.76	5.58	6.16	5.76	3.97	1.72	3458
未追氮	0.28	0.97	2.28	3.21	5.08	5.35	4.99	3.03	1.67	3276
优化 (中量处理组合)	0.30	0.98	2.33	3.36	5.24	5.95	5.53	3.49	1.92	3589
未施肥 (CK)	0.24	0.73	2.12	3.12	4.51	4.92	3.84	2.38	1.18	2360

不同种氮量与不同施磷量处理 LAI 的变化相似。高种氮处理下, 在生育前期即可获得较大的 LAI, 且峰值较高, 但在生育后期, LAI 急剧下降。未施种氮处理全生育期间 LAI 均较小。因此, 不同种氮量处理, 在生育前期 LAI 的变化表现为: 高种氮 > 优化 > 未施种氮 > 未施肥, 而在生育后期, 高种氮处理的 LAI 优势消失。

追施氮肥可提高 LAI, 其作用大小表现为: 高追氮 > 优化 > 未追氮 > 未施肥。在整个生育期的大部分时间内, 追施氮肥量较大时, 可保持马铃薯群体有较大的 LAI。因此, 追施适量氮肥可延长叶片的寿命, 保证马铃薯在生育后期仍有较多的功能叶。

综上所述, 尽管在不同密度和施肥量处理下, LAI 均呈单峰曲线变化, 但其消长过程有所不同。群体较大时, 在出苗后 55 d 以前, 以较多的个体优势获得较大的光合面积, 因而具有较大的 LAI; 当群体过大时, 因生育后期株间郁闭, 通风透光不良, 个体间对光的竞争加剧, 植株生长瘦弱, 后期发生倒伏, 削弱了光合作用, 致使大量叶片黄化脱落, LAI 急剧下降; 密度过小的群体, 即使单株叶面积较大, 但由于单位土地面积上株数少, 降低了各生育时期的 LAI, 因而表现出严重的光合源不足。不施肥处理由于养分缺乏, 植株生长不良, 叶片黄化, 而且叶面积小, 群体 LAI 在整个生育期内均较小, 且后期叶片过早出现衰退。高施磷处理, 由于磷素促进了叶片的伸展和侧芽的发育, 而使群体较早地达到最大的 LAI, 磷的缺乏则会抑制叶片的扩展和分枝叶面积的形成, 因而群体的光合面积小; 同时磷又可加速叶片的老化, 故高磷处理的群体较早地出现了叶片的老化脱落, 而此时优化处理仍保持正常的 LAI 发展动态。钾肥处理虽不及氮、磷处理对 LAI 的影响明显, 但钾肥与其它肥料的配合施用可延缓叶片的衰老。增施氮肥促进了马铃薯的营养生长, 而且茎叶生长旺盛, 生育前期拥有较大的 LAI; 但施用氮肥过多, 会造成营养生长过旺, 对后期群体发展不利。所以, 密度过大、磷或氮肥过多, 虽都可扩大 LAI, 使其很快达到最大值, 但达到最大值后稳定期很短, LAI 呈迅速下降趋势, 这样的叶面积发展动态是不合理的。

优化处理下, 由于氮、磷、钾施用量及密度均处于适宜水平, 因而具有合理的 LAI 发展动态 (图 1); 前期发展较快, 达峰值后稳定期长, 且后

期衰减缓慢, 峰值为 5.94, 最大叶面积稳定期约 20 d 左右, 依据两年的试验结果, 要获马铃薯高产, 必须使马铃薯群体 LAI 达到如下临界值, 即苗期 0.30, 块茎形成期 0.98, 块茎增长初期 2.33, 块茎增长后期 5.24, 淀粉积累期 5.53。

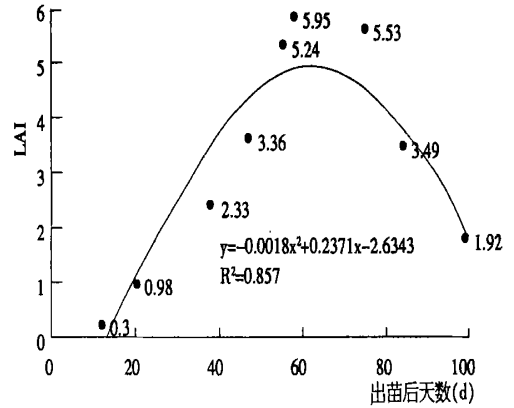


图 1 优化处理下马铃薯 LAI 动态变化

3.2 净同化率 (NAR)

如果把 LAI 认为是主要通过截获光能对群体光能利用产生影响, 那么群体 NAR 则主要是通过光能转换率而影响群体的光能利用率。马铃薯的 NAR 在全生育期的变化 (表 3、图 2)。由表 3、图 2 可见, 马铃薯群体 NAR 的变化趋势和 LAI 不同, 即随着 LAI 的增加, NAR 下降, 但在淀粉积累期到成熟期又有所回升。幼苗期, 随着根系的发育和茎叶的生长, NAR 迅速提高, 幼苗期很快达到一生的最高值; 以后随着叶的发生和叶片的伸展, NAR 逐渐下降, 到块茎膨大后期, 达到一生的最低值, 随着淀粉积累的开始, NAR 再度提高。

密度过大, 叶片相互遮荫, 造成光合生产率下降, 而不能提高经济产量; 低密群体在苗期由于个体数量较少, 群体光合生产率较低, 但在块茎增长期间由于群体内不存在光和养分的竞争, 光合生产率较高, 但后期回升较少。增施氮、磷、钾肥均可提高光合生产率, 但过量施肥并非有益, 尤其是氮、磷肥, 会造成茎叶的早衰而导致生育后期光合生产率的下降。如: 氮素能显著促进 LAI 的增长, 但由于 LAI 过大, 叶片相互遮荫, NAR 便呈直线下降。

优化处理下, 马铃薯群体苗期 NAR 达 20.32 g/m²·d, 且在淀粉积累期开始后, 又有较大的回升, 达到 13.24 g/m²·d。

表 3 不同密度与施肥处理下马铃薯 NAR 的变化 ($g/m^2 \cdot d$)

处理	苗期	苗期至 块茎形成期	块茎形成期至 块茎增长初期	块茎增长初期至 块茎增长后期	块茎增长后期至 淀粉积累期	淀粉积累期至 成熟期
高密度	21.51	11.64	10.60	9.63	8.40	12.06
低密度	15.41	9.93	12.05	11.14	7.39	8.76
高施磷	21.08	14.17	10.14	9.31	8.65	10.76
未施磷	20.11	10.72	9.72	8.40	7.80	12.27
高施钾	22.54	14.48	12.57	9.81	9.86	11.12
未施钾	20.88	10.87	11.90	8.66	8.25	12.83
高施种氮	23.97	13.28	13.14	12.19	8.65	11.88
未施种氮	19.88	10.92	9.77	8.90	7.43	12.74
高追氮	20.78	11.12	13.01	11.38	9.05	13.67
未追氮	20.98	11.07	10.47	9.05	8.07	12.36
优化 (中量处理组合)	20.32	11.23	10.13	9.68	8.43	13.24
未施肥 (CK)	19.82	10.27	9.12	8.03	7.21	9.04

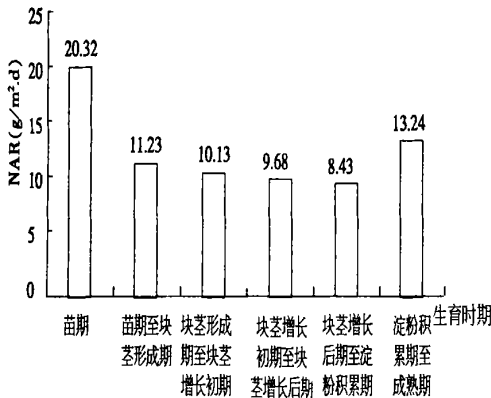


图 2 优化处理下马铃薯 MAR 变化

3.3 光合势 (LAD)

在一定范围内, LAD 越大, 光能利用率越高, 群体干物质生产与积累越多, 产量也越高。不同密度和施肥量处理下, 马铃薯群体的 LAD 随生育时期的推移, 均呈上升趋势, 峰值出现在淀粉积累期 (表 4、图 3)。

密度较大的群体, 在生育早期有较大的 LAD, 但由于在生育后期叶片过早脱落, 在产量形成的重要时期, 群体 LAI 迅速下降, 光合时间较短; 低密群体, 虽然在生育后期群体内部不存在光的竞争, 但由于个体数量少, 仍不能弥补前期群体 LAD

表 4 不同密度与施肥处理下马铃薯 LAD 的变化 ($\times 10^4 m^2 \cdot d/667m^2$)

处理	苗期	苗期至 块茎形成期	块茎形成期至 块茎增长初期	块茎增长初期至 块茎增长后期	块茎增长后期至 淀粉积累期	淀粉积累期至 成熟期	总光合势	产量 ($kg/667m^2$)
高密度	0.125	0.421	1.917	5.374	6.655	5.693	20.176	3462
低密度	0.088	0.233	1.381	4.768	7.162	6.686	20.318	3127
高磷	0.110	0.437	2.103	6.349	6.489	5.913	21.401	3378
未施磷	0.090	0.355	1.418	4.914	6.225	6.038	19.040	3322
高钾	0.095	0.379	1.814	5.128	7.205	6.515	21.136	3389
未施钾	0.091	0.359	1.585	4.976	6.230	6.010	19.251	3345
高种氮	0.108	0.429	2.642	6.740	6.214	5.374	21.505	3345
未施种氮	0.090	0.356	1.486	4.764	5.646	4.975	18.127	3211
高追氮	0.100	0.381	1.821	5.441	6.964	6.851	21.558	3458
未追氮	0.098	0.372	1.572	4.909	6.592	5.942	19.481	3276
优化 (中量处理组合)	0.101	0.386	1.768	5.050	7.180	6.948	21.433	3589
未施肥	0.089	0.344	1.367	4.687	5.565	4.682	16.734	2360

小, 而发展缓慢, 漏光损失多。氮、磷、钾肥均能在一定程度上提高 LAD。适量的磷肥施用, 由于促进了叶片的发生和快速发展, 扩大了叶面积, 使生育早期就能获得较大的 LAD, 但施磷过量, 则加速叶片的老化, 使后期的光合势降低。氮肥由于促进了马铃薯的营养生长, 有利于叶片的扩大和侧枝的形成, 从而获得较高的 LAD。如氮肥早期施用量过大, 会造成地上部徒长, 使营养生长过旺, 茎秆多汁细弱, 易造成倒伏, 从而使中下部叶片大量脱落而降低了后期 LAD, 产量下降。氮肥适量施用既有利于叶面积的扩大, 又可延缓叶片的衰老, 提高了光合势。充足的钾素营养, 可维持旺盛的蛋白质和碳水化合物的合成, 从而促进植株的代谢过程、提高光合强度, 使茎秆粗壮, 减轻倒伏和推迟叶片的衰老, 从而使群体有较高的 LAD。

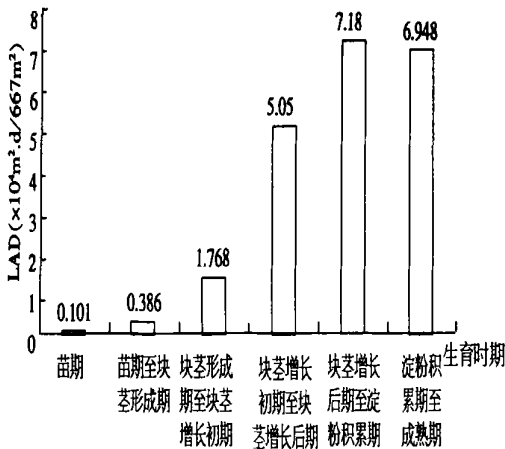


图 3 优化处理下马铃薯 LAD 变化

在优化处理条件下, 马铃薯群体不仅有合理的叶面积发展动态, 而且在群体生育后期, 即淀粉积累期仍维持较高的光合势, 这对产量的形成和提高具有重要意义。由图 3 可见, 在优化栽培措施下, 群体的总 LAD 达到 $21 \times 10^4 \text{ m}^2 \cdot \text{d} / 667 \text{ m}^2$ 以上, 其中约 90% 分配在块茎增长以后至成熟期, 块茎增长期到淀粉积累期的 LAD 近 $7 \times 10^4 \text{ m}^2 \cdot \text{d} / 667 \text{ m}^2$ 以上, 淀粉积累期到成熟期仍保持 $6 \times 10^4 \text{ m}^2 \cdot \text{d} / 667 \text{ m}^2$, 即可获得 $3500 \text{ kg} / 667 \text{ m}^2$ 以上的块茎产量。只有接近成熟期, LAD 才略有下降。

3.4 优化栽培处理下马铃薯 LAI、NAR 及 LAD 动态的相关性

LAI、LAD 及 NAR 的变化动态各不相同, 但

前二者峰值的出现时期是一致的。尽管 NAR 在很长一段时间内处于下降趋势, 但此时 LAI 及 LAD 正处于上升时期, 因此作物群体的干物质生产总量仍继续增加。相关分析表明, LAI 及 LAD 与 NAR 有负相关趋势, 即随着功能叶片生长期的延续, 单位叶面积在单位时间内生产的干物质总量呈下降趋势。由 LAI、NAR 及 LAD 很难解释马铃薯群体干物质生产过程, 但 $\text{LAI} \times \text{NAR}$, 即 CGR (群体生长率) 的变化则能很好地描述马铃薯群体的生长状况, 而且 LAD 与 CGR 高度正相关 ($R = 0.992^{**}$), 说明马铃薯群体生产能力的提高并非由于 NAR 的增加, 而是 LAD 的延长。

4 结论与讨论

4.1 马铃薯在优化栽培条件下, 群体 LAI 在整个生育期内呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎膨大期; NAR 的变化呈二次曲线下降, LAD 符合二次抛物线变化。

4.2 马铃薯最大叶面积的持续期 LAD 出现在块茎膨大和淀粉积累时期, 正是马铃薯一生中干物质积累最多的时期。由于作物自身的生长发育规律, 此时植株上的功能叶片开始衰亡, 为提高马铃薯产量, 在该时期应防止干旱脱肥, 既要避免植株生长过旺又要防止植株早衰, 尽量延长功能叶片的工作时间。

4.3 据报导, 马铃薯高产品种 NAR 低, 而且由于块茎的膨大, NAR 提高 (Radley, 1961; Humphries, 1965), 本研究也表明, 马铃薯生产力的提高不是 NAR 的提高, 而是 LAD 的延长, 因为生产力的增加总要归因于光能截获的增加。

参 考 文 献

[1] 王树安主编. 作物栽培学 (北方本) [M]. 中国农业出版社, 1995, 232—245.
 [2] 余德谦, 朱旭彤. 农作物器官建成 [M]. 农业出版社, 1992.
 [3] 大崎左雄. 马铃薯的生理营养与施肥 (译文) [J]. 马铃薯杂志, 1988, 2 (1): 10—15.
 [4] (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.
 [5] 门福义, 刘梦云. 马铃薯栽培生理 [M]. 中国农业出版社, 1995, 9.
 [6] 刘晓冰. 日本作物生理研究 [M]. 世界农业, 1996, (2): 23—24.

马铃薯匍匐茎与块茎建成规律的研究

刘克礼¹, 高聚林¹, 张宝林²

(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: 马铃薯匍匐茎及块茎的建成与光合系统状况及干物质分配密切相关。匍匐茎形成与地上茎生长间存在对光合产物的竞争, 光合系统的迅速建成有利于匍匐茎和块茎的发生; 虽然植株的干物质大量分配到匍匐茎和块茎, 有利于二者的建成, 但其建成仍然以地上部各器官的建成为物质基础。

关键词: 马铃薯; 匍匐茎; 块茎

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 1672-3635 (2003) 03-151-06

1 前言

匍匐茎的形成和块茎的形成是马铃薯产量形成的前提条件和基础。大量研究证明, 匍匐茎可以在主茎任何节位上形成, 但其进一步发育是多种内外因素协调作用的结果。虽然块茎由匍匐茎尖发育而成, 但不是所有的匍匐茎都能形成块茎, 其形成也同样受多种条件所调控。在一般情况下, 匍匐茎

的成薯率约为 50%~70%, 匍匐茎越多, 形成的块茎也多^[1]; 同时, 匍匐茎和块茎的建成也与植株其它器官的生长发育密切相关。匍匐茎数量及干重与种薯上萌发的枝条数呈负相关, 匍匐茎的生长随萌发的枝条数的增加而削弱^[2]; 匍匐茎生长与叶片数的多少和光合面积的大小有关, 随着去叶数的增多, 匍匐茎数减少^[3]; 增加矿质养分, 能促进匍匐茎的生长 (Svensson, 1962; Lovell & Booth, 1969; Tripathi, B. K., 1973)。马铃薯植株形成块茎数量的多少, 主要取决于每茎上发生的匍匐茎数以及匍匐茎形成块茎的条件, 一切影响匍匐茎和块茎形成的条件都会影响块茎形成的数量, 包括遗传因素、自

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。

CHANGE IN SOME PARAMETERS RELATIVE TO PHOTOSYNTHESIS IN POTATO POPULATION

ZHANG Bao-lin¹, GAO Ju-lin², LIU Ke-li²

(1. Inner Mongolia Normal University, Huhhot 0100021, China;

2. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

ABSTRACT: The change in leaf area index (LAI) of potato population was a curve with one peak, which appeared at the middle and end of tuber bulking stage. The change in net assimilation rate (NAR) is different from in LAI. The NAR decreased with increase in LAI. The change in LAD of potato population followed a quadratic curve during the whole growth period. The maximal leaf area occurred when tuber was in bulking stage and starch accumulation stage, and most of the dry matter was accumulated in tuber at this time. The increase in productivity is due to the increase in LDA, not to the increase in NAR.

KEY WORDS: potato; photosynthesis; parameter