

青花菜干物质生产特点及影响因素的研究

樊立宏 陆帼一

(西北农业大学园艺系, 陕西杨陵 · 712100)

摘 要 青花菜苗期 NAR, 花芽分化期 LAI, 显蕾期 NAR, LAI, 花球成熟期 NAR 与其 CGR 呈显著或极显著的正相关。苗期日均温(AT)是影响 NAR, CGR 的主要因素, AT 在 12~26℃ 范围内, 提高温度, 可提高 NAR 和 CGR; 花芽分化期, AT 在 13~26℃ 范围内, AT 升高, 对 CGR, LAI 的提高有利; 显蕾期干物质生产受 LAI, AT, 日射量的综合影响, AT 是影响 NAR, CGR 的主要因素, LAI 对 NAR 的影响次于 AT, 起负效应; 花球成熟期 LAI, AT, 日射量对 NAR 及 CGR 的作用趋势, 因播期而异。

关键词 绝对生长率, 净同化率, 叶面积指数, 日均温, 青花菜, 干物质, 生产

中图分类号 S635.901

关于青花菜干物质生产的研究, 国内的报道限于气象因素对青花菜全生育期干物质生产的影响^[1]。但在青花菜的全生育期中, 群体的大小、组成和分布不断地发生变化, 是一个动态发展过程。因此, 在研究青花菜干物质生产时, 必须结合不同生育期进行动态研究。本试验通过分期播种, 造成青花菜不同生育期生态因素的差异(主要是气象因素的差异), 研究了不同生育期干物质生产的特点及影响因素, 以期为青花菜栽培技术的制定提供依据。

1 材料和方法

试验于 1988 年 6 月~1989 年 9 月在西北农业大学蔬菜站进行, 供试品种为“早生绿”。共设 12 个播期: 1989 年 2 月 10 日(1); 2 月 25 日(2); 3 月 12 日(3); 3 月 27 日(4); 4 月 11 日(5); 4 月 26 日(6); 5 月 11 日(7); 5 月 26 日(8); 6 月 10 日(9); 1988 年 6 月 25 日(10); 7 月 10 日(11); 7 月 25 日(12)。1~4 期在温室中育苗, 出苗前温度保持在 18~20℃; 其余各期在露地育苗。各播期当苗子长出 7 片真叶时, 定植于大田。根据青花菜的生长发育特征, 将青花菜的生育过程划分为 4 个时期: 苗期, 出苗~7 片真叶定植; 花芽分化期: 7 片真叶定植~花芽分化(花芽分化指数达 0.25^[2]); 显蕾期: 花芽分化~显蕾, 50% 植株蕾径达 1.5~2.0 cm 时为显蕾标准; 花球成熟期: 显蕾~主花球采收。分别于 7 片真叶, 花芽分化, 显蕾及主花球采收时, 取样 5 株, 测定叶面积、植株地上部干重, 统计并计算各生育期日均温(AT)和日射量(SR)的阶段平均值。试验数据分析引用的公式^[3]:

$$\text{绝对生长率(CGR)} = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \quad \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

式中 W 为干重, T 为时间

收稿日期: 1991-11-23.

$$\text{净同化率(NAR)} = \frac{W_2 - W_1}{1/2(A_2 - A_1)} \quad \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

式中 A 为叶面积

$$\text{平均叶面积指数(LAI)} = \frac{L_2 - L_1}{\ln L_2 - \ln L_1}$$

其中 L 为叶面积指数。

2 结果与分析

干物质生产是植物生长发育过程中,生理生态因素综合作用的结果。干物质生产能力高低可用绝对增长率(CGR)、净同化率(NAR)、叶面积指数(LAI)这些生长函数表示。

2.1 青花菜不同播期各生育期生长函数的变化

从表 1 可以看出,同一播期不同生育期的生长函数有不同的变化趋势。苗期由于苗床单位面积上株数多,青花菜群体具有较高的 CGR 和较大的 LAI,从花芽分化期至花球成熟期,不同播期的 CGR 变化趋势不同,1~6 及 9~12 播期呈上升趋势,在花球成熟期出现最大值;7、8 期在显蕾期出现高峰,花球成熟期下降。不同播期的 NAR 变化趋势也不同,1~3 及 10 期呈上升趋势,在花球成熟期出现高峰,4~9 及 11、12 期在显蕾期出现高峰,花球成熟期下降。青花菜定植以后,随着植株生长发育,不同播期的 LAI 均呈增长趋势,在花球成熟期达到最大。另外,不同播期同一生育期的生长函数也表现不同。这表明生长函数的变化除反映植物生长发育固有的规律之外,还与它们之间的相互作用以及生态条件的影响有关。

2.2 各生育期生长函数的相互作用及影响因素

生长函数 CGR, NAR 和 LAI 之间的相互作用关系可表示为: $\text{CGR} = \text{NAR} \cdot \text{LAI}$ 。另外, NAR, CGR 主要受 LAI, AT, SR 的影响。可用表 1 数据按生育期加以分析。

表 1 不同播期各生育期生长函数、日均温、日射量的变化

播期 代号	作物生长率($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)				净同化率($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)				平均叶面积指数	
	苗期	花芽 分化期	显蕾期	花球 成熟期	苗期	花芽 分化期	显蕾期	花球 成熟期	苗期	花芽 分化期
1	4.115	0.918	3.668	16.499	2.092	6.910	6.743	11.078	2.872	0.014
2	4.575	0.904	7.147	18.939	2.375	6.553	8.697	10.464	2.856	0.020
3	7.667	1.898	8.499	20.613	3.115	8.561	8.808	10.600	3.088	0.073
4	8.318	1.622	10.133	12.301	3.156	6.653	12.280	6.521	3.171	0.088
5	7.864	2.339	10.456	12.351	3.280	7.412	9.092	6.414	3.059	0.222
6	7.981	3.173	10.780	10.853	3.718	7.603	8.809	5.765	2.946	0.467
7	9.112	3.006	12.338	7.869	3.856	6.428	8.805	3.854	3.043	0.532
8	9.817	3.038	12.389	9.033	4.533	6.156	8.942	4.521	2.955	0.635
9	9.898	2.904	9.463	13.023	4.409	5.745	6.975	6.438	2.990	0.644
10	10.141	2.953	8.654	12.024	4.520	5.216	5.849	5.929	2.989	0.790
11	11.886	2.607	8.384	11.987	5.120	4.683	5.771	5.447	3.022	0.745
12	9.384	1.542	3.779	5.617	4.069	5.237	4.752	4.054	3.017	0.198

续表1 不同播期各生育期生长函数、日均温、日射量的变化

播期 代号	平均叶面积指数		日均温(℃)				日射量($\text{cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)			
	显蕾期	花球 成熟期	苗期	花芽 分化期	显蕾期	花球 成熟期	苗期	花芽 分化期	显蕾期	花球 成熟期
1	0.447	1.414	11.8	15.6	16.1	18.6	103.4	143.7	486.2	648.1
2	0.611	1.788	13.6	13.6	18.6	22.1	135.8	467.7	468.0	667.6
3	0.798	1.925	14.4	17.9	20.7	22.6	182.2	371.4	568.0	528.5
4	0.832	1.874	15.6	19.8	23.1	23.4	273.0	547.6	543.4	273.9
5	1.020	1.922	17.1	22.9	24.6	24.4	449.0	537.2	399.4	251.6
6	1.153	1.878	20.1	24.2	24.1	27.3	551.3	361.6	333.9	578.6
7	1.316	2.042	23.1	24.6	28.2	23.9	506.6	379.7	534.5	533.4
8	1.321	1.996	24.1	25.6	24.7	25.6	330.2	429.1	541.4	462.8
9	1.303	2.020	25.1	25.1	21.7	21.8	286.6	432.7	287.3	355.5
10	1.430	2.027	25.6	23.7	21.6	17.8	331.5	269.5	280.6	124.4
11	1.403	2.188	26.3	22.1	17.5	13.7	320.6	269.2	115.5	153.6
12	0.750	1.368	23.9	20.3	14.9	11.6	269.7	225.6	96.4	299.0

2.2.1 苗期 从表2看出,NAR与CGR呈极显著的正相关,而LAI与NAR,CGR之间的相关关系不显著,这说明提高苗期净同化率是加速干物质积累、促进生长的关键。

表2 青花菜不同生育期生长函数之间的相关

生长函数	苗期		花芽分化期		显蕾期		花球成熟期	
	NAR	LAI	NAR	LAI	NAR	LAI	NAR	LAI
NAR	1.000**	0.245	1.000**	-0.595*	1.000**	-0.140	1.000**	-0.305
CGR	0.967**	0.479	-0.178	0.866**	0.586*	0.681*	0.942**	0.012

苗期NAR与AT呈极显著的正相关(0.962),多元逐步回归也选择出AT,决定了NAR变化的92.5%,表明AT是影响NAR的主要因素。CGR与AT也呈极显著的正相关(0.901),多元回归分析表明,AT和LAI共同影响着CGR,其中AT的作用最大,LAI次之。由此决定了CGR变化的95.5%(表3)。

表3 影响净同化率和绝对生长率因素的多元回归分析

生育阶段	生长函数	选择变量	标准回归系数	偏回归系数	偏回归系数的t检验	回归方程的F检验	决定系数(%)
苗期	NAR	AT	0.962	0.167	11.185**	125.097**	92.5
	CGR	AT	0.857	0.363	12.016**	95.072**	95.5
		LAI	0.380	9.468	5.333**		
花芽分化期	NAR	不显著					
	CGR	AT	0.945	0.202	9.092**	82.663**	89.2
显蕾期	NAR	AT	0.974	0.502	4.470**	10.279**	69.6
	CGR	LAI	-0.663	-4.004	-3.040*		
		AT	0.934	0.672	8.271**		
花球成熟期	NAR	不显著					
	CGR	不显著					

以上说明,苗期日均温是影响净同化率,绝对生长率的主要因素。在日均温12~26℃

范围内,提高温度可提高净同化率和绝对生长率。另外,叶面积指数对绝对生长率的影响仅次于日均温,因而,在苗期也应重视幼苗叶面积的扩大。

2.2.2 花芽分化期 NAR 与 CGR 的相关系数不显著,而 NAR 与 LAI 呈显著的负相关,LAI 与 CGR 呈极显著的正相关(表 2),说明在此生育期,虽然叶面积的增加使净同化率有所降低,但由于叶面积指数的增大,使干物质的总量增多,所以对绝对生长率的提高仍有利。加速叶片分化和叶面积扩大,促进营养生长是此生育期的关键。

NAR 与 AT,SR 的相关系数不显著,多元回归分析选择不出有效的变量,说明此生育期,LAI,AT,SR 对 NAR 的影响趋势不一致。

CGR 与 AT 呈极显著正相关(0.945),多元回归分析也仅选择出 AT 为影响 CGR 的主要因素,又由于 LAT 与 AT 之间的相关系数达极显著水平(0.816),表明 AT 对 LAI、CGR 的作用是一致的。在日均温 13~26℃ 的范围内,温度的提高不仅对 CGR 的增大有利,而且使叶片迅速分化和扩展,叶面积指数增大。因此,春末青花菜定植后,在气温尚低,植株叶面积较小的情况下,应采取提高温度的措施(如拱棚覆盖),使叶面积指数迅速增长,绝对生长率提高,积累较多的干物质,为花球形成和发育打下良好的基础。

2.2.3 显蕾期 NAR,LAI 和 CGR 均呈显著的正相关(表 2)。说明叶面积的扩大和单位叶面积光合效率的提高对干物质生产同时起着重要作用。

NAR 与 AT,SR 呈显著、极显著的正相关,相关系数分别为 0.619 和 0.772。多元回归分析表明:AT,LAI 是影响 NAR 的主要因素,决定了 NAR 变化的 69.6%,其中 AT 的作用最大,标准回归系数为 0.974,LAI 的作用次之,标准回归系数为 -0.663(表 3)。NAR 与 AT 呈显著的正相关,并不意味着 AT 越高,NAR 越高,结合表 1 可以看出,在显蕾期,1~4 期,随着 LAI 增大,AT 上升,NAR 也提高,在 AT 为 23.1℃,LAI 为 0.832 时,NAR 达到最大,为 $12.280 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (4 期);5~8 期,AT 大于 24℃,虽然 LAI 增大,NAR 却维持在 $8.8 \sim 9.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,没有增长的趋势;9~11 期,LAI 较大,但 AT 较低,NAR 也相应降低。说明当群体叶面积指数较大时,只有在较高的温度下,才能维持较高的净同化率,温度低,净同化率反而降低;12 期 LAI 小,AT 也低,因而 NAR 也低。

CGR 与 AT 呈极显著的正相关(0.934),进一步回归分析表明,AT 为影响 CGR 的主要因素,决定了 CGR 变化的 87.2%(表 3)。LAI 虽然与 CGR 呈显著正相关,但并未选出作为主要因素影响 CGR,说明 AT 反映了通过 NAR 和 LAI 对 CGR 的综合作用。

以上分析表明,显蕾期 NAR 受 AT,SR,LAI 的综合作用,其中 AT 是影响 NAR 的主要因素。CGR 主要受 AT 的影响。因此,春青花菜为早上市而提早播种时,由于温度低,显蕾期叶面积小,需要采取提高温度的措施,使绝对生长率、净同化率维持较高的水平,促进植株的生长发育;秋青花菜播种过晚时,花芽分化后,气温持续下降,也影响净同化率和绝对生长率的提高,所以,选择适宜的播期很重要。

2.2.4 花球成熟期 NAR 与 CGR 呈极显著的正相关(0.942),多元回归分析选择不出影响 NAR,CGR 的主要因素(表 3),但 CGR,NAR 仍有较大的值(表 1),这表明在此生育期,LAI,AT,SR 对 CGR,NAR 的影响是错综复杂的,不同播期其作用趋势不一致。在不同播期中,由于花球肥大期间所处的生态条件(特别是温度)不同,从而造成“库”容量和强度的差异,这种差异又会影响到作为制造同化物质的“源”——叶片的容量和强度。我

们观察到,5~8期花球成熟期一直处于高温季节,花球发育快,形成的花球小^[4],由于“库”小,限制了光合产物向花球中的运输,导致NAR的下降,绝对生长率相应降低或增长幅度很小。另外,花球成熟期,植株分化的叶片全部展开,LAI达到最大值,而LAI大的群体只有在较高的日射量和适宜的温度下,才有高的NAR和CGR;当日射量较低时,NAR低,CGR也较小。温度过高过低也会使NAR,CGR较低。所以,花球成熟期各生长函数的相互关系及其影响因素,应从“源”、“库”关系的角度作进一步研究。

青花菜出苗~7片真叶时定植,幼苗期平均叶面积指数大致相近,花球成熟期,叶片制造的光合产物主要用于花球肥大,其次用于叶面积扩大^[4],因而,苗期和花球成熟期,提高净同化率对于物质生产有重要作用。花芽分化期叶片迅速分化、扩展,提高叶面积指数有利于干物质生产。显蕾期叶片停止分化,叶面积继续扩大,叶片制造的养分除满足本身的需要外,还要供给发育着的花球,因此,净同化率和叶面积指数对于物质生产都很重要。这说明了青花菜各生育期生长函数的相互关系是其生长发育规律的反映。

3 结 论

(1)青花菜苗期NAR,花芽分化期LAI,显蕾期NA和LAI,花球成熟期NAR与其CGR呈显著或极显著的正相关。

(2)苗期日均温是影响NAR,CGR的主要因素,日均温在12~26℃范围内,提高温度可提高NAR和CGR。

(3)花芽分化期CGR主要受日均温的影响,日均温在13~26℃范围内,温度升高,对CGR和LAI的提高有利。

(4)显蕾期干物质生产受LAI,日均温、日射量的综合影响,日均温是影响NAR,CGR的主要因素,它们之间呈极显著的正相关,LAI对NAR的影响次于AT,起负效应。

(5)花球成熟期LAI,日均温、日射量对NAR,CGR的作用趋势,不同播期不一致。

参 考 文 献

- 1 奥岩松,李盛堂,蒋先华.青花菜干物质生产特征与气象因素的研究.中国蔬菜,1989,(3):5~6
- 2 Fujime Y. A difference to low temperature between cauliflower and broccoli. *Acta Hort*, 1988; 218:141~151
- 3 Hunt R 著;陆充辉译.植物生长分析.北京:科学出版社,1980
- 4 樊立宏,陆幅一.播期对青花菜产量和品质的影响.陕西农业科学,1991,(6):21~22
- 5 奥岩松.青花菜早熟种“绿球”群体结构特征及各器官生长动态的研究.东北农学院学报,1988,19(1):83~87

The Characteristics and Constraints of Dry Matter Production in Broccoli

Fan Libong Lu Gouyi

(Department of Horticultural Science, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract There were significant or extremely significant correlations between net assimilation rate(NAR) and crop growth rate(CGR) in seedling stage, the leaf area index(LAI) and CGR in inflorescence differentiation stage, NAR, LAI and CGR in button forming stage, NAR and CGR in flower head maturity stage of broccoli. In seedling stage, the average daily temperature (AT) was the major factor affecting NAR and CGR. In the range of 12~26℃ of AT, AT rises, which is favourable for NAR and CGR rising. And in inflorescence differentiation stage, and AT in the range of 13~26℃, rising AT is helpful to raise LAI and CGR. In button forming stage, dry matter production was affected by LAI, AT and daily solar radiation(SR). AT was the main factor affecting NAR and CGR. Effect of LAI on NAR, smaller than AT, was negative. NAR and CGR had the different response to LAI, AT, SR in flower head maturity stage of different sowing dates.

Key words absolute crop growth rate, net assimilation rate, leaf area index, average daily temperature, broccoli