

夏玉米超高产群体光合特性的研究

东先旺 刘树堂

(莱阳农学院农学系, 山东莱阳 265200)

摘 要 对夏玉米中熟品种超高产群体光合特性的研究表明, 超高产群体叶面积发展动态为花前快, 花后稳, 蜡熟期衰减缓; 光合势总量适度, 经济产量形成期的阶段光合势高; 群体光合速率高而稳; 群体呼吸占群体光合的比率较低; 净同化率与群体叶面积乘积高; 总干物质积累量大, 干物质生产率高, 尤其生育后期干物质生产量大, 生产率高是夏玉米超高产群体光合的重要特性之一。实现夏玉米产量水平 $13\,500\text{ kg/hm}^2$; 适宜密度为 $75\,000\text{ 株/hm}^2$ 左右; 最大叶面积系数 5.5 左右; 总光合势 $330\text{ 万 m}^2/\text{hm}^2\cdot\text{d}$; 群体光合速率(以 CO_2 重量计)全生育期平均 $6.5\text{ g/m}^2\cdot\text{h}$; 群体呼吸速率(以 CO_2 重量计)平均 $1.8\text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ 左右; 净同化率平均 $7.8\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ 左右; 干物质积累总量 $26\,000\text{ kg/hm}^2$ 以上; 乳熟至成熟期干物质生产率平均 $290\text{ kg/hm}^2\cdot\text{d}$ 以上。

关键词 夏玉米 超高产量 光合特性

研究表明, 实现夏玉米高产核心是提高与干物质生产密切相关的群体光合性能^[1~6]。但以往的研究多集中在 $9\,000\sim 12\,000\text{ kg/hm}^2$ 的群体条件下, 而对夏玉米超高产量水平($13\,500\text{ kg/hm}^2$ 以上)下群体光合性能的系统研究较少, 深入研究超高产群体光合特点及有关光合生理指标, 对指导夏玉米大面积实现超高产具有重要意义。本试验以夏玉米中熟品种为试材, 对超高产玉米群体光合特性作了系统研究, 以期制定夏玉米超高产配套技术提供理论依据。

1 材料和方法

试验于 1996~ 1997 年在莱阳农学院试验基地实施, 供试品种掖单 22 号, 设 5 个密度处理, 密度范围 $45\,000\sim 105\,000\text{ 株/hm}^2$, 组距 $15\,000\text{ 株}$, 分别为每 hm^2 $45\,000$ 、 $60\,000$ 、 $75\,000$ 、 $90\,000$ 、 $105\,000$ 株。随机区组设计, 重复 3 次。试验小区面积为 60 m^2 , 5 行区, 行距 60 cm 。夏季直播, 6 月 9 日播种, 9 月 22 日成熟。

试验地属潮棕壤土, 耕层有机质含量 1.2 mg/g , 速效氮 90 mg/kg , 速效磷 60.1 mg/kg , 速效钾 100 mg/kg 。播种时 75 kg/hm^2 的磷酸二铵做种肥, 拔节期、大口期、开花期分别追施尿素 300 kg/hm^2 、 450 kg/hm^2 、 150 kg/hm^2 , 其它管理采用高产攻关措施, 力求各处理发挥最佳产量水平。生育期内各处理定点定期取代表株(5~ 7 株)测定叶面积、干物重, 计算光合势、干物质积累量、积累强度、净同化率等; 采用 BAU 光合测定系统配以大型同化箱在田间定期测定群体光合速率及群体呼吸速率。收获期每小区取中间 3 行计产并取样考察植株性状及经济性状。

2 结果与分析

2.1 产量结构及经济性状

不同密度处理的产量结构见表 1。密度与产量之间呈抛物线关系,其拟合方程为 $y = -5569 + 0.482X - 3.064 \times 10^{-6}X^2$ ($R = 0.955^{**}$),极值点为 $X = 78\,600$ 株/ hm^2 。经 F 测验试验处理间产量差异显著,最佳产量的密度处理为 75 000 株/ hm^2 ,产量水平达 13 635 kg/ hm^2 ,极显著地高于 45 000 株/ hm^2 、60 000 株/ hm^2 及 105 000 株/ hm^2 ,显著高于 90 000 株/ hm^2 ,试验最佳密度与极值点密度差异不显著。表明本试验条件下,达到超高产水平的最适密度可确定为 75 000 株/ hm^2 左右,其产量结构为 75 000 穗/ hm^2 ,穗粒数 480 左右,千粒重 380 g 左右。从各密度处理植株发育状况和经济性状看(表 2),75 000 株/ hm^2 群体与个体发育较协调,群体生产力高。密度超过 90 000 株/ hm^2 ,穗位高度明显增高,空株率增加,经济性状明显趋劣。

表 1 不同密度处理的产量结构

密 度 (株/ hm^2)	穗 数 (穗/ hm^2)	穗粒数 (个)	千粒重 (g)	产 量 (kg/ hm^2)	产量差异显著性	
					5%	1%
45 000	45 000	526.4	418.1	9 907.5	d	C
60 000	60 000	507.3	404.4	12 309.0	c	B
75 000	75 000	479.7	379.1	13 635.0	a	A
90 000	89 850	403.4	358.0	12 976.5	b	A
105 000	98 000	356.8	353.0	12 343.5	c	B

表 2 不同密度处理植株发育状况及经济性状

密 度 (株/ hm^2)	株高 (cm)	穗位高 (cm)	空株率 (%)	穗长 (cm)	穗粗* (cm)	秃顶长 (cm)	穗粒重 (g)	经济 系数
45 000	216.0	83.6	0	17.9	5.4	1.0	220.2	0.53
60 000	221.5	85.7	0	16.8	5.3	1.2	205.2	0.53
75 000	225.0	87.0	0	16.6	5.1	1.2	181.8	0.52
90 000	230.0	95.6	1.7	14.8	5.0	1.3	144.4	0.50
105 000	234.8	96.4	6.6	14.0	4.8	1.2	126.0	0.50

* 穗粗为穗中部直径长度。

2.2 群体叶面积(LAI)发展动态

不同密度处理的群体叶面积发展动态为开花期达到高峰,稳定期持续至蜡熟期,蜡熟期后叶面积迅速衰减(表 3)。尤其是高密度处理群体,叶面积衰减过快,这是造成千粒重下降的重要原因之一。低密度处理群体叶面积发展始终偏少,而影响群体生产力。本试验条件下最佳产量水平的群体叶面积发展动态为花前快,花后稳,蜡熟期后衰减缓,各生育时期的适宜叶面积系数可确定为拔节期 0.7 左右,小口期 2.5 左右,大口期 4.0 左右,开花期 5.5 左右,蜡熟期 4.5 左右,成熟期 2.5 左右。

2.3 光合势(LAD)变化动态

光合势的发展趋势与群体面积发展趋势基本一致(表 4)。阶段光合势及总光合势虽受群

表 3 不同密度处理个体及群体的叶面积变化动态

密 度 (株/hm ²)	拔节期		小口期		大口期		开花期		乳熟期		蜡熟期		成熟期	
	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI	单株叶面积 ² (cm ²)	LAI
45 000	994.9	0.45	3 284.8	1.50	6 402.6	2.88	8 111.5	3.65	6 553.5	2.95	6 325.7	2.84	3 551.8	1.60
60 000	959.5	0.58	3 217.8	1.90	5 770.8	3.46	7 850.5	4.71	6 368.8	3.82	6 324.5	3.74	3 486.9	2.09
75 000	955.1	0.72	3 200.6	2.40	5 470.7	4.10	7 400.4	5.55	6 292.8	4.72	5 912.5	4.43	3 333.5	2.50
90 000	983.9	0.01	2 915.8	2.62	5 222.4	4.34	6 709.3	6.03	6 083.9	5.47	5 724.1	5.15	1 778.7	1.60
105 000	901.4	0.95	2 849.0	3.00	4 803.7	4.62	6 190.8	6.50	5 564.6	5.84	4 750.8	4.99	1 095.8	1.15

体自动调节的影响,但调节能力有限,主要受群体大小的制约。大口期以前阶段光合势增加较缓,自大口期开始迅速增加,乳熟期至蜡熟期阶段光合势达最高值,蜡熟期后速减。高密度处理的阶段光合势和总光合势虽始终保持高值,但与产量水平之间不呈正比关系。表明高产群体的光合势发展动态及总量要求合理和适度。根据 75 000 株/hm² 的群体光合势发展动态及总量,产量水平达 13 500 kg/hm²,光合势动态确定为:三叶期~拔节期 5.39 万 m²/hm²·d,拔节期~小口期 15.18 万 m²/hm²·d,小口期~大口期 32.0 万 m²/hm²·d,大口期~开花期 64.11 万 m²/hm²·d,开花期~乳熟期 73.32 万 m²/hm²·d,乳熟期~蜡熟期 114.42 万 m²/hm²·d,蜡熟期~成熟期 32.67 万 m²/hm²·d,总光合势 330 万 m²/hm²·d,经济产量形成期的光合势占总光合势的 65% 以上。

表 4 不同密度处理光合势变化动态

密 度 (株/hm ²)	万 m ² ·hm ⁻² ·d ⁻¹							
	三叶~ 拔 节	拔节~ 小 口	小口~ 大 口	大口~ 开 花	开花~ 乳 熟	乳熟~ 蜡 熟	蜡熟~ 成 熟	总光 合势
45 000	3.23	9.63	17.44	42.25	45.10	71.32	15.05	204.02
60 000	4.16	12.53	21.57	53.74	60.26	95.20	27.93	275.39
75 000	5.39	15.18	25.57	64.11	73.32	114.42	32.68	330.67
90 000	5.87	17.18	29.30	71.67	82.60	132.84	33.76	373.22
105 000	6.83	19.69	32.14	77.37	133.95	135.49	30.73	436.20

2.4 群体光合速率(CAP)的动态变化

各密度处理的群体的光合速率见表 5。群体光合速率与密度呈正相关(R= 0.9105^{*}),生育期内的动态变化呈抛物线,开花期达高峰,而后下降。超高产群体明显的特点表现为群体光合速率高而稳定,尤其是生育后期群体光合速率高,开花期群体光合速率(以 CO₂ 重量计)为 10 g·m⁻²·h⁻¹左右,全生育期平均值 6.5 g·m⁻²·h⁻¹左右。

表 5 不同密度处理群体光合速率动态变化

密 度 (株/hm ²)	光 合 速 率 (g·m ⁻² ·h ⁻¹)							
	拔节	小口	大口	开花	乳熟	蜡熟	成熟	平均
45 000	3.7	4.2	5.8	7.9	6.3	4.2	2.8	5.0
60 000	3.9	4.7	6.5	8.2	6.9	4.5	3.1	5.4
75 000	4.5	5.3	7.0	9.9	8.5	6.3	3.9	6.5
90 000	4.8	5.8	7.6	10.2	8.7	5.4	2.2	6.4
105 000	5.1	6.7	8.0	11.0	8.2	5.0	1.9	6.6

注:测定光强:7.5 万~9.0 万 lx 气温:28~35℃ 时间:10:00~12:00

2.5 群体呼吸速率(CR)的动态变化

不同密度处理的群体呼吸速率见表 6。群体呼吸速率与密度呈正相关, 与群体叶面积的变化趋势基本相同, 随群体叶面积的扩大群体呼吸速率增强, 至开花期达最大值, 乳熟期后增速加快。超高产群体开花期呼吸速率(以 CO₂ 重量计)在 2.8 g·m⁻²·h⁻¹左右, 全生育期平均 1.8 g·m⁻²·h⁻¹左右, 群体呼吸速率占群体光合速率的 28% 左右, 随密度增加群体呼吸占群体光合的比率增大。

表 6 不同密度处理群体呼吸速率的变化*

密 度 (株/ hm ²)	呼 吸 速 率 (g·m ⁻² ·h ⁻¹)							平均
	拔节	小口	大口	开花	乳熟	蜡熟	成熟	
45 000	0.5	0.9	1.1	2.3	2.0	1.6	1.3	1.4
60 000	0.7	1.1	1.2	2.4	2.2	1.7	1.3	1.5
75 000	0.8	1.3	1.5	2.8	2.6	2.0	1.5	1.8
90 000	1.0	1.5	1.7	3.1	2.9	2.5	1.4	2.1
105 000	1.1	1.7	2.1	3.5	3.2	2.2	1.3	2.2

* 测定温度: 28~ 35℃

2.6 群体净同化率(NAR)的变化动态

不同密度处理的群体净同化率变化随密度的增大而降低, 与叶面积系数呈负相关(表 7), 两者的协调可通过密度的调控来解决, 叶面积系数与净同化率的乘积达最高值时, 则获得最佳生物产量。本试验中乘积最高的 75 000 株/hm², 生物产量达 26 055 kg/hm², 生育期内平均净同化率达 7.8 g/hm²·d, 高峰值达 10 g·m⁻²·d⁻¹左右。不同密度处理的净同化率一生中均出现两个峰值, 一个在大口期~ 开花期, 另一个在乳熟期~ 蜡熟期。密度大, 第二个峰值趋平坦, 表明后期群体结构性能直接影响净同化率的提高, 导致群体生产能力下降。

表 7 不同密度处理的群体净同化率 g·m⁻²·d⁻¹

密 度 (株/ hm ²)	三叶~ 拔 节	拔节~ 小 口	小口~ 大 口	大口~ 开 花	开花~ 乳 熟	乳熟~ 蜡 熟	蜡熟~ 成 熟	平 均
45 000	7.0	9.3	10.3	10.6	6.2	10.2	7.0	8.7
60 000	6.8	8.4	10.4	11.00	5.1	9.5	7.0	8.3
75 000	6.9	7.5	8.5	10.6	5.1	9.1	6.9	7.8
90 000	6.9	8.6	7.6	9.3	5.1	7.2	4.1	7.0
105 000	6.8	6.9	7.7	8.7	3.6	5.7	3.3	6.1

2.7 群体干物质积累动态

本试验不同密度处理的群体干物质积累动态结果(表 8)表明, 以开花期为界, 前半期群体干物质积累量与密度呈正相关, 后半期主要受群体结构性能的综合影响, 适宜密度处理的群体干物质积累量明显增大, 群体生产力高。75 000 株/hm² 的密度处理全生育期干物质总量达 26 055.01 kg/hm², 前半期干物质积累约占 40%, 后半期约占 60%。总干物质积累量大, 尤其生育后半期量大是超高产群体的重要特性之一。

2.8 群体干物质生产率

群体干物质生产率的测定结果(表 9)表明, 适宜密度处理干物质生产率全生育期平均值最高, 突出表现在乳熟期以后, 与干物质积累量动态一致。最佳产量水平的密度处理, 其生育

表 8 不同密度处理群体干物质积累动态

kg·hm⁻²

密 度 (株/hm ²)	三叶期	拔节期	小口期	大口期	开花期	乳熟期	蜡熟期	成熟期
45 000	4.5	229.5	1 125.0	2 920.5	7 399.5	10 195.5	17 470.5	18 835.6
60 000	6.0	288.0	1 341.0	3 583.5	9 493.5	12 567.0	21 610.5	23 370.0
75 000	7.5	378.0	1 516.5	3 690.0	10 294.5	13 960.5	24 258.0	26 055.0
90 000	9.0	414.0	1 891.5	4 117.5	10 783.5	14 997.0	24 561.0	25 945.5
105 000	10.5	475.5	1 934.5	4 309.5	11 040.0	14 239.5	21 961.5	23 725.5

期内平均干物质生产率为 252.9 kg·hm⁻²·d⁻¹, 乳熟期至成熟期平均高达 295.8 kg·hm⁻²·d⁻¹, 生育后期的高生产率促进了经济产量的提高。

表 9 不同密度处理的群体干物质生产率

kg·hm⁻²

密 度 (株/hm ²)	三叶~ 拔 节	拔节~ 小 口	小口~ 大 口	大口~ 开 花	开花~ 乳 熟	乳熟~ 蜡 熟	蜡熟~ 成 熟	平 均
45 000	16.05	89.55	224.40	298.65	186.30	291.00	136.50	177.49
60 000	20.10	105.30	280.35	422.10	204.90	361.80	175.95	226.80
75 000	26.40	113.85	271.65	471.75	244.35	411.90	179.7	252.90
90 000	28.95	147.75	278.25	476.10	280.95	382.50	138.45	251.70
105 000	33.15	145.90	309.45	480.75	213.30	308.85	146.40	233.97

3 讨论

本试验条件下夏玉米中熟品种超高产群体密度范围控制在 75 000 株/hm² 左右, 有利于群体与个体发育协调, 群体生产能力得到充分发挥, 产量综合性状表现优良, 产量水平突破 13 500 kg/hm², 达到超高产量。不同密度处理的各项群体光合生理指标表明, 最佳产量水平的群体不是某项或几项生理指标的突出表现, 而是决定于各项生理指标的适度, 综合反映出群体结构性能的优劣, 最终体现在经济产量形成阶段的群体干物质生产能力上。认为与产量密度相关的花粒期干物质生产总量及生产率, 可客观反映出群体结构性能的优劣及各项生理指标的适度性。本试验最佳产量的群体叶面积发展动态合理, 阶段光合势及总光合势适宜, 群体光合速率后劲较足, 群体净同化率与叶面积系数乘积最高, 开花期以后群体干物质积累量大, 生产率高。认为上述各项指标可作为建立夏玉米超高产群体光合生理的有关参数, 同时重视生育后期各项田间管理措施的配合, 延缓叶面积下降速度, 提高光合速率, 增加干物质生产量, 则更有利于超高产量的实现。

参 考 文 献

- 1 王忠孝 等. 夏玉米高产规律研究 I 高产玉米的生理指标. 山东农业科学, 1988, 5: 8~ 10
- 2 胡昌浩 等. 高产夏玉米群体生理参数初探. 黄淮海玉米高产文集, 天则出版社, 1990. 171~ 180
- 3 李伯航 等. 黄淮海玉米高产理论与技术. 北京: 学术书刊出版社, 1990. 79~ 83
- 4 刘绍棣 等. 紧凑型玉米株型及生理特性研究. 华北农学报, 1990, 5(3): 20~ 27
- 5 崔彦宏 等. 紧凑型夏玉米群体光合特性与产量关系分析. 玉米科学, 1994, 2(2): 52~ 57
- 6 王庆成 等. 小麦玉米亩产吨粮群体光合与配套技术研究. 山东玉米科技进展, 1994, 109~ 115

A Study of Canopy Apparent Photosynthesis Property in Summer Maize with Superhigh Yield

Dong Xianwang Liu Shutang

(Department of Agronomy, Laiyang Agriculture College, Laiyang, Shandong Province 265200)

Abstract The canopy apparent photosynthesis property in middle-ripe summer maize with superhigh yield were reported. The results showed that the developmental trends of canopy apparent leaf area of the maize was fast, steady and subtractive respectively at postfloral, prefloral and dough stages; LAD was higher in the stage which economic yield shaping, but total LAD was appropriate; the canopy apparent photosynthesis rate was higher and steady. The ratio of canopy respiration was lower in the canopy photosynthesis; the higher dry matter productivity and multiplying canopy LAD by assimilation of total dry matter, especially, the higher dry matter production become at postgrowth stage and it was one of important property of canopy photosynthesis in summer maize with superhigh yield.

Key words: Summer maize; Superhigh yield; Photosynthesis property