

# 春玉米优化栽培措施对群体光合性能的影响

侯旭光, 冯 勇

(内蒙古自治区农业科学院, 呼和浩特 010031)

摘要: 以内单 4 号春玉米为试验材料, 采用五因素二次通用旋转组合设计(1/2)实施方案, 通过建立群体光合性能指标模型, 系统地研究了主要栽培因素对生理指标的影响。结果表明, 最大叶面积系数(LAI)和总光合势(LAD)与产量的关系呈单峰曲线变化, 当最大 LAI $\leq 5.8$  或总 LAD $\leq 362.7$  万  $\text{m}^2\cdot\text{d}/\text{hm}^2$  时, 产量呈上升趋势, 对产量影响较大的是灌浆期的 LAI 或散粉~灌浆期的 LAD, 保持散粉期后具有较大的光合面积和持续时间是提高产量的保证。在当地生产条件下, 内单 4 号单产 11 250  $\text{kg}/\text{hm}^2$  的优化栽培措施为: 密度 6 885~7.065 万株/ $\text{hm}^2$ , 种肥 N 30  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 种肥  $\text{P}_2\text{O}_5$  96.75~108.15  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 种肥  $\text{K}_2\text{O}$  66.75~74.4  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 拔节肥 N 131.85~145.65  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 穗肥 N 102.0~117.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 群体光合性能指标参数为: 最大 LAI 为 4.83~4.94, 总 LAD 为 320.4~329.7 万  $\text{m}^2\cdot\text{d}/\text{hm}^2$ , 平均净同化率(NAR)为 6.77~6.79  $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。其中散粉~灌浆期 LAD 为 79.8~82.35 万  $\text{m}^2\cdot\text{d}/\text{hm}^2$ 。

关键词: 玉米; 优化栽培; 群体光合性能; 产量; 数学模型

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(1999)04-0092-11

玉米栽培管理措施是否优良, 主要是通过产量来评价, 而产量的形成是植株发育的复杂的动态生理过程, 最终表现在群体特征上, 高产优化的群体必须具有协调的个体发育动态和群体光合性能指标发展动态。鲍巨松<sup>[1]</sup>、胡昌浩<sup>[2]</sup>对不同紧凑型品种的群体光合性能指标进行了较为系统的研究, 尹枝瑞<sup>[3]</sup>等对春玉米研究结果认为, 耐密性玉米 11 250  $\text{kg}/\text{hm}^2$  的生理指标为: 总 LAD 316.4~439.2 万  $\text{m}^2\cdot\text{d}/\text{hm}^2$ , 最大 LAI 4.25~5.53, NAR 5.76~7.55  $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ , 经济系数为 0.496~0.549。不同类型品种、不同产量水平和相应栽培技术措施下群体光合性能指标不同, 而目前对光合性能的研究多着重于品种或密度对其的影响上, 综合农艺措施对群体光合性能的影响鲜有报道。因此, 开展春玉米高产优化栽培技术对生理指标影响的研究符合实际情况, 也十分必要。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与设计

试验于 1994~1995 年在内蒙古哲里木盟农研所试验地进行。试验地土壤为肥力均匀的黑五花土, 前茬为玉米。0~30 cm 耕层土壤有机质含量为 12.6  $\text{mg}/\text{g}$ , 全氮 1.32  $\text{mg}/\text{g}$ , 碱解氮 123.5  $\text{mg}/\text{kg}$ , 速效磷为 71.69  $\text{mg}/\text{kg}$ , 速效钾为 86.58  $\text{mg}/\text{kg}$ , pH 值为 7.8。

供试品种为玉米杂交种内单 4 号(3081 $\times$  Mo17)。试验采用五因素二次通用旋转组合设

计(1/2)实施,选取主要栽培因素为:种肥磷量( $X_1$ )、种肥钾量( $X_2$ )、密度( $X_3$ )、拔节肥氮量( $X_4$ )、穗肥氮量( $X_5$ )。因素水平及编码见表 1,结构矩阵见表 2。

表 1 因素水平及编码

	因 素	单 位	编 码					间 距
			- 2	- 1	0	1	2	
$X_1$	种肥磷量( $P_2O_5$ )	kg/ $hm^2$	0 00	56 25	112 50	168. 75	225. 00	56 25
$X_2$	种肥钾量( $K_2O$ )	kg/ $hm^2$	0 0	37. 5	75. 0	112. 5	150 0	37. 5
$X_3$	密 度	万株/ $hm^2$	4 500	5 625	6 750	7 875	9 000	1 125
$X_4$	拔节肥氮量(纯 N)	kg/ $hm^2$	0 0	75 0	150 0	225 0	300 0	75 0
$X_5$	穗肥氮量(纯 N)	kg/ $hm^2$	0 0	75 0	150 0	225 0	300 0	75 0

试验中种肥氮统一为 30 kg/  $hm^2$ ,种肥配置以磷酸二铵为主(含  $P_2O_5$  46%, N 18%),无磷区以尿素折算(含 N 46%),磷肥不足用三料磷补充(含  $P_2O_5$  46%),种肥钾为硫酸钾(含  $K_2O$  50%),追肥为尿素。

试验重复 2 次,共计 64 个小区,小区面积为 48 m<sup>2</sup>(行长 8 m, 10 行区,行距 0. 6 m),其中 4 行为取样区,6 行为测产区。

表 2 5 因素二次通用 旋转组合设计结构矩阵(1/ 2 实施)

处理	编 码					处理	编 码				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	1	1	1	1	1	17	2	0	0	0	0
2	1	1	1	-1	-1	18	-2	0	0	0	0
3	1	1	-1	1	-1	19	0	2	0	0	0
4	1	1	-1	-1	1	20	0	-2	0	0	0
5	1	-1	1	1	-1	21	0	0	2	0	0
6	1	-1	1	-1	1	22	0	0	-2	0	0
7	1	-1	-1	1	1	23	0	0	0	2	0
8	1	-1	-1	-1	-1	23	0	0	0	-2	0
9	-1	1	1	1	-1	25	0	0	0	0	2
10	-1	1	1	-1	1	26	0	0	0	0	-2
11	-1	1	-1	1	1	27	0	0	0	0	0
12	-1	1	-1	-1	-1	28	0	0	0	0	0
13	-1	-1	1	1	1	29	0	0	0	0	0
14	-1	-1	1	-1	-1	30	0	0	0	0	0
15	-1	-1	-1	1	-1	31	0	0	0	0	0
16	-1	-1	-1	-1	1	32	0	0	0	0	0

1. 2 测试方法

每次每小区取样 5 株(苗期 10 株),测定可见叶数、展开叶数、株高、叶面积,并将植株地上器官按叶片、叶鞘、茎秆、雄穗、苞叶、雌穗(穗轴、子粒)等分开,称其鲜重。定量留取小样,在 105 ℃烘箱中烘 30 min,然后在 80 ℃下烘干到恒重,冷却后称干重。

2 结果与分析

2 1 栽培措施与产量的关系

2 1 1 模型建立 各处理产量结果见表 3。运用计算机进行统计分析,得出种肥磷量( $X_1$ )、

表 3 1994~1995 年多因素试验产量结果

kg/hm<sup>2</sup>

处理	1994	1995	平均	处理	1994	1995	平均
1	14748.0	13938.0	14343.0	17	12322.5	12217.5	12270.0
2	12372.0	12244.5	12308.3	18	12100.5	12201.0	12150.8
3	12577.5	10536.0	11556.8	19	12397.5	13089.0	12743.3
4	10434.0	11227.5	10830.8	20	12449.5	11818.5	12159.0
5	12862.5	13524.0	13193.3	21	11974.5	12502.5	12238.5
6	12154.5	12351	12252.8	22	10692.0	10135.5	10413.8
7	11917.5	11881.5	11899.5	23	12682.5	12078.0	12380.3
8	11092.5	11158.5	11125.5	24	10290.0	12099.0	11194.5
9	12796.5	12345.0	12615.8	25	12691.5	12084.0	12387.8
10	12625.5	11680.5	12153.0	26	12220.5	11728.5	11974.5
11	11794.5	11673.0	11733.8	27	12753.0	12640.5	12696.8
12	11049.0	10962.0	11005.5	28	12195.0	11974.5	12084.8
13	13513.5	14167.5	13840.5	29	12772.5	12052.5	12412.5
14	12064.5	12540.0	12302.3	30	12856.5	12601.5	12729.0
15	11401.5	11344.5	11373.0	31	12696.0	12537.0	12616.5
16	10920.0	10620.0	10770.0	32	13008.0	12669.0	13838.5

种肥钾量( $X_2$ )、密度( $X_3$ )、拔节肥氮量( $X_4$ )、穗肥氮量( $X_5$ ) 5 因素与产量的关系模型:

$$Y=b_0+\sum_{i=1}^mb_iX_i+\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{j=i+1}^mb_{ij}X_iX_j+\sum_{i=1}^mb_{ii}X_i^2\qquad(m=5,-2\leqslant X_i\leqslant 2)$$

其模型回归系数及显著性测验见表 4, 失拟性检验  $F_1=2.4866<F_{0.05}(5,6)=4.39$ , 回归模型显著性检验  $F_2=7.568>F_{0.01}(20,11)=4.1$ , 复相关系数  $R=0.9631$ , 说明模型很好地反映了实际, 可直接进行回归模型的进一步分析。

表 4 模型回归系数与显著性检验

$b_i$	回归系数	T	$b_i$	回归系数	T
$b_0$	12520.7300	85.1575	$b_{24}$	6.1020	0.0661
$b_1$	81.5625	1.0840	$b_{25}$	50.1570	0.5443
$b_2$	40.0620	0.5324	$b_{34}$	133.7820	1.4517
$b_3$	681.6870	9.0596**	$b_{35}$	124.9770	1.3561
$b_4$	424.0620	5.6357**	$b_{45}$	238.4055	2.5870*
$b_5$	132.0630	1.7551	$b_{11}$	-45.7905	-0.6728
$b_{12}$	84.0930	0.9125	$b_{22}$	14.5845	0.2143
$b_{13}$	41.1570	0.4466	$b_{33}$	-266.6670	-3.9180*
$b_{14}$	71.3430	0.7742	$b_{44}$	-151.5405	-2.2265(*)
$b_{15}$	-3.8430	-0.0417	$b_{55}$	-53.1030	-0.7802
$b_{23}$	-7.9680	-0.0865			

注: \*\*、\*、(\*)分别为 0.01、0.05 和 0.1 显著水平

2.1.2 栽培措施决策分析 对产量与诸因素关系模型进行不同产量指标的栽培措施决策分析。在  $-2\leqslant X_i\leqslant 2$  范围内, 采用频数分析法, 结果见表 5。

表 5 内单 4 号 11250kg/hm<sup>2</sup> 和  $\geqslant 13500\text{kg/hm}^2$  优化栽培措施(95%置信限)

产量指标 (kg/hm <sup>2</sup> )	种肥磷量( $X_1$ ) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/hm <sup>2</sup> )	种肥钾量( $X_2$ ) K <sub>2</sub> O (kg/hm <sup>2</sup> )	密度( $X_3$ ) (万株/hm <sup>2</sup> )	拔节肥氮量( $X_4$ ) 纯 N (kg/hm <sup>2</sup> )	穗肥氮量( $X_5$ ) 纯 N (kg/hm <sup>2</sup> )
11250	96.75~108.15	66.75~74.40	6.885~7.065	131.85~145.65	102.00~117.30
$\geqslant 13500$	128.25~145.95	78.00~90.75	8.175~8.335	255.45~266.25	245.10~257.85

2 2 高产栽培的群体光合性能

2.2.1 模型建立 种肥磷量( $X_1$ )、种肥钾量( $X_2$ )、密度( $X_3$ ), 拔节肥氮量( $X_4$ )、穗肥氮量( $X_5$ )等主要因素与各生育时期的叶面积系数(F LAI)、群体光合势(LAD)、净同化率(NAR)、群体干物重(DW)等主要群体光合性能指标的关系, 可用以下数学模型表示:

$$Y=b_0+\sum_{i=1}^mb_iX_i+\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{j=i+1}^mb_{ij}X_iX_j+\sum_{i=1}^mb_{ii}X_i^2 \quad (m=5, -2\leq X_i\leq 2)$$

苗期和拔节期, 由于拔节肥和穗肥还未施入, 模型拟合时若仍按 5 因素通用旋转设计分析, 势必造成干扰, 故苗期、拔节期按 3 因素非线性回归拟合。同样, 在大喇叭口期, 穗肥未施入或刚施入, 故按 4 因素进行拟合。散粉期后的模型拟合仍按原统计方法进行。

2.2.2 叶面积系数(LAI) 不同生育时期主要栽培因素与 LAI 的模型回归系数( $b_i$ 、 $b_{ij}$ 、 $b_{ii}$ )及 LAI 与群体干物重(DW)、子粒产量的相关系数( $r$ )、直接通径系数(P)见表 6。从表 6 中可以看出, 不同生育时期的 LAI 与群体干物重(DW)、子粒产量呈显著、极显著正相关关系。相

表 6 LAI 模型回归系数及与干重、产量的相关系数

项目	系数	苗期 (20d)	拔节期 (40d)	大喇叭口 (60d)	散粉期 (74d)	灌浆期 (91d)	完熟期 (115d)
模型	b <sub>0</sub>	0.0909	1.5995	4.3207	4.7841	4.6447	2.9858
	b <sub>1</sub>	0.0029	0.1046 *	-0.1387	0.0826	0.0837	0.1900 *
	b <sub>2</sub>	0.0040	0.0125	-0.0346	0.0076	0.0063	-0.0881
	b <sub>3</sub>	0.0175 **	0.1672 **	0.4125 **	0.5414 **	0.4728 **	0.2929 **
	b <sub>4</sub>			0.0000	0.0984	0.2457 **	0.1099
	b <sub>5</sub>				-0.0204	0.0611	-0.0082
	b <sub>12</sub>	-0.0037	0.0575	-0.1776 *	0.0207	-0.0644	-0.0519
	b <sub>13</sub>	-0.0022	0.0210	0.0400	0.0699	-0.0461	-0.1638
	b <sub>14</sub>			-0.0137	0.0070	-0.1006	-0.1245
	b <sub>15</sub>				0.0111	-0.0997	0.1952
	b <sub>23</sub>	0.0018	0.0527	0.0981	0.0040	0.0354	-0.1663
	b <sub>24</sub>			0.0621	0.0312	0.0943	-0.0092
	b <sub>25</sub>				-0.0113	-0.0821	-0.0246
	b <sub>34</sub>			-0.0332	-0.0051	0.0522	0.0800
	b <sub>35</sub>				0.0058	0.0271	-0.0158
	b <sub>45</sub>				-0.0130	0.0136	0.0869
	b <sub>11</sub>	0.0016	0.0234	-0.0106	0.0564	-0.0012	-0.0663
	b <sub>22</sub>	-0.0034	-0.0001	-0.0451	0.0709	-0.0324	0.0156
	b <sub>33</sub>	0.0026	-0.0163	-0.0045	0.0152	-0.0665	0.0392
	b <sub>44</sub>			0.0654	0.0720	-0.0054	0.0852
	b <sub>55</sub>				0.0256	0.0099	-0.0937
	F <sub>2</sub>	10.0650 **	2.0230	3.5720 **	11.2287 **	5.8035 **	3.3055 *
	R	0.9010	0.6815	0.8639	0.9753	0.9548	0.9255
与干重	r	0.6541 **	0.3929 *	0.5464 **	0.7854 **	0.7043 **	0.5259 **
	p	0.1779	0.1424	0.0077	0.5158	0.0360	0.1240
与产量	r	0.5484 **	0.2628	0.3761 *	0.7333 **	0.7906 **	0.4504 **
	p	0.1525	-0.1483	-0.3726	0.3359	0.7318	-0.0317

注 \*\*、\*分别为 0.01 和 0.05 显著水平

对而言,大喇叭口之前和灌浆期之后的 LAI 对物质积累和产量影响较小,散粉盛期和灌浆期对子粒产量的影响较大,与子粒产量相关系数( $r$ )为 0.7333 和 0.7906,直接通径系数( $P$ )为 0.3359 和 0.7318,说明玉米散粉~灌浆期具有较大的光合面积,对提高生物产量和经济产量有益。然而产量并非随 LAI 的增大而无限提高,最大 LAI(抽雄~散粉期)与子粒产量的关系呈一条抛物线: $Y=-12329.4+8684.6LAI-748.5LAI^2(n=32 \quad R=0.7710^{**} \quad LAI \geq 2)$ 。在最大 LAI 达到 5.8 以后,产量随最大 LAI 的增加而下降(见图 1)。不同生育时期 LAI 变化见图 2。

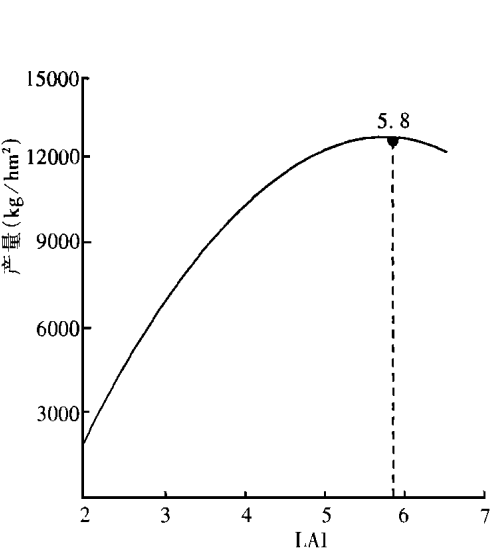


图 1 最大 LAI 与子粒产量关系

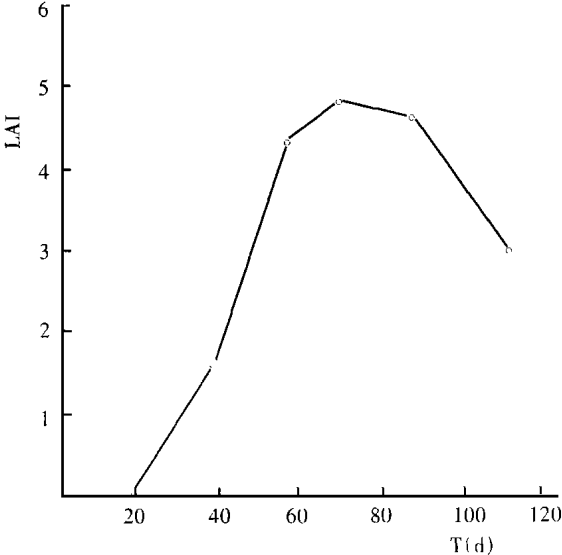


图 2 不同生育期 LAI 变化

从表 6 中各生育时期的回归系数看, LAI 在整个生育期间受密度( $X_3$ )影响较大,且随密度的增加而提高,对产量影响较大的散粉期、灌浆期的 LAI 则主要受密度、拔节肥氮量的影响。

将已确定的  $11250 \text{ kg/hm}^2$  优化栽培措施(见表 5)转换为编码后代入各 LAI 模型,得  $11250 \text{ kg/hm}^2$  时不同生育时期的 LAI 指标参数:苗期(20 d)0.091~0.096,拔节期(40 d)1.59~1.64,大喇叭口期(60 d)4.40~4.45,散粉期(74 d)4.83~4.94,灌浆期(91 d)4.53~4.72,完熟期(115 d)2.97~3.05。内单 4 号活秧成熟,至完熟期 LAI 仍保持在 3 左右,有利于产量的提高。

2.2.3 光合势(LAD) 不同生育时期主要栽培因素与 LAD 的模型回归系数及 LAD 与群体干物重、子粒产量的相关系数( $r$ )、通径系数( $P$ )见表 7。从表 7 中可见,不同生育时期的 LAD

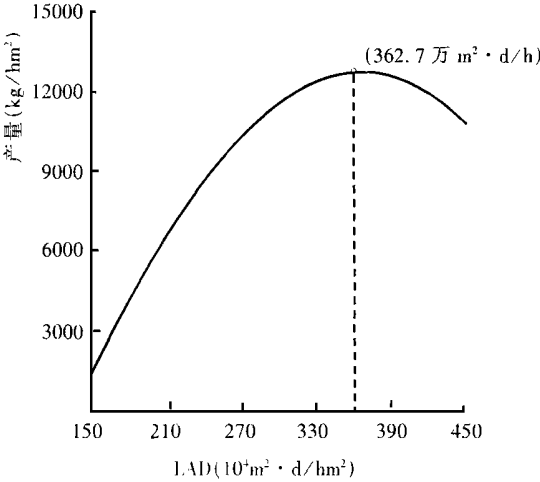


图 3 LAD 与产量关系

与群体干物重、子粒产量都呈极显著的正相关关系,不同的是群体干物重主要是由大喇叭口~散粉盛期的 LAD 决定( $r=0.7279, P=0.5592$ ),子粒产量则主要由散粉盛期~灌浆期的 LAD 决定( $r=0.7943, P=1.0063$ ),可见提高散粉盛期后的光合面积和持续时间,对子粒灌浆有利,也是提高产量的保证。全生育期间群体总 LAD 与子粒产量、群体干物重也呈现极显著正相关关系,与 LAI 对产量的影响相似,也呈一单峰曲线变化:

$$Y=-19867.2+179.86LAD-0.248LAD^2 \quad (R=0.7868^{**}, n=32, LAD<150)$$
在总  $LAD<362.7 \text{ 万 m}^2\cdot\text{d/hm}^2$  时,产量随 LAD 的增加而提高,之后 LAD 增加产量呈下降趋势(见图 3)。

不同生育时期的 LAD 受密度( $X_3$ )影响最大,大喇叭口期后拔节肥氮量( $X_4$ )对 LAD 的影响逐渐增大。各因素对散粉~灌浆期 LAD 的影响大小顺序为密度( $X_3$ )>拔节肥氮量( $X_4$ )>种肥磷量( $X_1$ )>穗肥氮量( $X_5$ )>种肥钾量( $X_2$ )。

表 7 LAD 模型回归系数及与干重、产量的相关系数

项目	系数	苗期	苗期~ 拔节期	拔节期~ 大喇叭口	大喇叭口~ 散粉期	散粉期~ 灌浆期	灌浆期~ 完熟期	总 计 ( $\text{万 m}^2\cdot\text{d/hm}^2$ )
模型	b <sub>0</sub>	10.9200	17.8650	58.6500	63.8520	80.4195	91.9500	323.1000
	b <sub>1</sub>	0.0300	1.0755	-0.3405	-0.3930	1.4130	3.285 *	5.0745
	b <sub>2</sub>	0.0390	0.1650	-0.2205	-0.1875	0.1185	-0.9375	-1.0755
	b <sub>3</sub>	0.1755 **	1.8465 *	5.7975 **	6.6795 **	8.6220 **	9.1875 **	32.3130 **
	b <sub>4</sub>			0.0675	0.6900	2.9250 *	4.2750 **	7.9995 *
	b <sub>5</sub>				0.5490	0.3465	0.6330	2.8005
	b <sub>12</sub>	-0.036	0.5385	-1.2015	-1.1010	-0.3690	-1.3965	-3.5625
	b <sub>13</sub>	-0.024	0.1860	0.6105	0.7710	0.2025	-2.5185	-0.7500
	b <sub>14</sub>			-0.9585	-0.0495	-0.7965	-2.7030	-5.2500
	b <sub>15</sub>				0.0300	-0.7515	1.1490	-0.5700
	b <sub>23</sub>	0.0195	0.5475	1.5090	0.7170	0.3360	-1.5720	1.5555
	b <sub>24</sub>			-0.5415	0.6540	-0.5355	-1.2420	-2.7555
	b <sub>25</sub>				0.3885	0.7950	-1.2795	-3.0000
	b <sub>34</sub>			-0.6975	-0.2685	0.3990	1.5870	0.6945
	b <sub>35</sub>				-0.7710	0.2790	0.1365	-0.7125
	b <sub>45</sub>				-0.8700	0.0075	1.2045	0.0375
	b <sub>11</sub>	0.0135	-0.0420	0.1635	0.3105	0.4095	-0.8910	0.2055
	b <sub>22</sub>	-0.0375	-0.3240	-0.4155	0.1695	0.2685	-0.2835	-0.3750
	b <sub>33</sub>	0.0225	-0.4275	-0.1749	0.0645	-0.4965	-0.4110	-1.1820
	b <sub>44</sub>			1.3020	0.9525	0.0507	0.8670	4.1625
	b <sub>55</sub>				0.0615	0.2430	-1.0860	-1.7070
	F <sub>2</sub>	9.8590 **	1.4460	5.4600 **	6.3546 **	7.9876 **	8.5576 **	13.3777 **
	R	0.8952	0.6097	0.9045	0.9594	0.9673	0.9694	0.9801
	r	0.6613 **	0.5058 **	0.6697 **	0.7279 **	0.7767 **	0.7083 **	0.7890 **
	P	0.1599	0.2827	-0.3320	0.5592	0.1557	0.1660	
与产量	r	0.5540 **	0.3888 **	0.4644 **	0.6066 **	0.7943 **	0.7199 **	0.7169 **
	P	0.1026	0.1824	-0.5767	0.0873	1.0063	0.0165	

当其它因素为 0 水平时, 某单因素与散粉~灌浆期 LAD 的效应函数(见图 4)为:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 80.4195 + 1.413X_1 + 0.4095X_1^2; & Y_2 &= 80.4195 + 0.1185X_2 + 0.2685X_2^2; \\ Y_3 &= 80.4195 + 8.622X_3 - 0.4965X_3^2; & Y_4 &= 80.4195 + 2.925X_4 + 0.0507X_4^2; \\ Y_5 &= 80.4195 + 0.3465X_5 + 0.243X_5^2 \end{aligned}$$

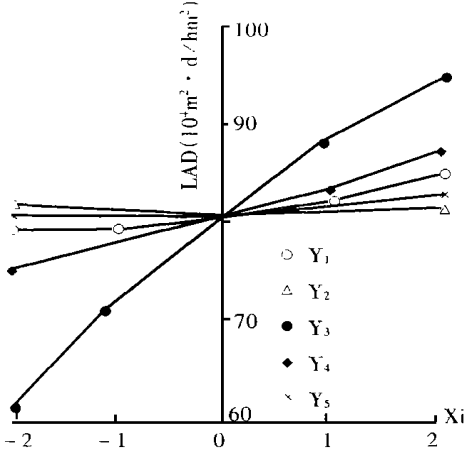


图 4 各因素对散粉~灌浆期 LAD 的效应曲线

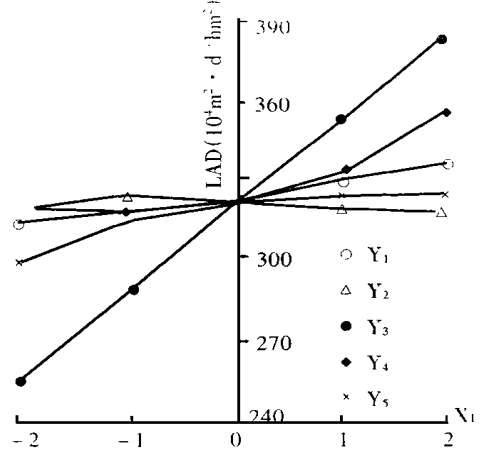


图 5 各因素对总 LAD 的效应曲线

与总 LAD 的效应函数(见图 5)为:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 323.1 + 5.0745X_1 + 0.2055X_1^2; \\ Y_2 &= 323.1 - 1.0755X_2 - 0.375X_2^2; \\ Y_3 &= 323.1 + 32.313X_3 - 1.182X_3^2; \\ Y_4 &= 323.1 + 7.9995X_4 + 4.1625X_4^2; \\ Y_5 &= 323.1 + 2.8005X_5 - 1.707X_5^2 \end{aligned}$$

由图 4、5 可见, 关键生育时期(散粉~灌浆期)及全生育期间总的 LAD 主要由密度( $X_3$ )和拔节肥氮量( $X_4$ )决定, 且随  $X_3$ 、 $X_4$  的增加而提高。也就是说适当增加密度、增施拔节肥, 有利于提高生育后期及整个生育时期的光合面积及持续时间。

从图 6 可见, 11250 kg/hm<sup>2</sup> 不同生育阶段 LAD 为: 苗期 10.95 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup> 左右, 苗期~拔节期(20~40 d)17.7~18.3 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>, 拔节期~大喇叭口期(40~60 d)59.25~60.3 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>, 大喇叭口~散粉期(60~74 d)64.35~65.55 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>, 散粉盛期~灌浆期(74~91 d)79.80~82.35 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>, 灌浆~完熟期(91~115 d)90.3~93.6 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>, 总 LAD 为 320.4~329.9 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>。

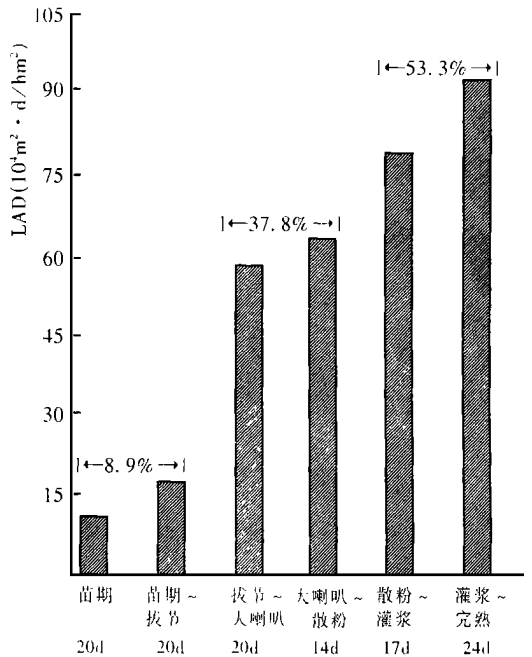


图 6 不同生育时期 LAD 变化

2.2.4 净同化率(NAR) 苗期后各生育时期的 NAR 与群体干物重、子粒产量的关系不显著(见表 8)。群体干物重和子粒产量主要受光合面积、光合时间影响,单位叶面积生产的物质主要由品种自身生育时期决定。

表 8 NAR 模型回归系数及与 DW、产量的相关系数

项目	系数	苗期	苗期~ 拔节期	拔节期~ 大喇叭口	大喇叭口~ 散粉期	散粉期~ 灌浆期	灌浆期~ 完熟期	平均 (g/d·m <sup>2</sup> )
模型	b <sub>0</sub>	0.7290	12.8160	5.7400	8.0865	6.3071	6.6427	6.7920
	b <sub>1</sub>	0.0140	-0.1727	0.3989 <sup>*</sup>	-0.1176	0.4265	-0.0852	0.0739
	b <sub>2</sub>	0.0124	-0.4505	0.1730	0.2014	-0.2591	0.4717	0.0398
	b <sub>3</sub>	0.0892 <sup>**</sup>	-0.9307 <sup>**</sup>	0.0568	-0.0903	-0.6872	0.2213	-0.2040 <sup>*</sup>
	b <sub>4</sub>			0.1951	0.5840 <sup>*</sup>	0.2162	-0.6842	0.0536
	b <sub>5</sub>				0.0432	0.5795	-0.5439	-0.1184
	b <sub>12</sub>	0.0124	0.7218 <sup>*</sup>	-0.2979	0.3803	-0.3896	0.6137	0.1908
	b <sub>13</sub>	0.0222	-0.2123	-0.1370	0.4031	-1.0084	1.0216	0.0583
	b <sub>14</sub>			0.1401	-0.5792	1.1768	-0.3788	0.0662
	b <sub>15</sub>				-0.4794	0.1559	0.4039	0.0537
	b <sub>23</sub>	0.0079	0.1426	-0.2280	-0.3993	0.3571	0.9129	0.1832
	b <sub>24</sub>			0.2781	-0.2671	-0.1630	0.6993	0.1308
	b <sub>25</sub>				-0.1231	-0.5991	0.3888	0.0383
	b <sub>34</sub>			-0.0360	-0.3943	0.3155	0.0799	-0.0047
	b <sub>35</sub>				0.4914	-0.3824	-0.0816	-0.0359
	b <sub>45</sub>				0.1997	-0.3057	-0.0862	-0.0878
	b <sub>11</sub>	0.0138	-0.0051	-0.1366	0.4100	-0.9471 <sup>*</sup>	1.1381 <sup>*</sup>	0.1004
	b <sub>22</sub>	-0.0210	0.1658	-0.1810	0.1844	-0.2295	-0.2389	-0.0924
	b <sub>33</sub>	-0.0217	0.1553	0.0234	0.1816	-0.1325	0.0879	0.0234
	b <sub>44</sub>			-0.3299 <sup>*</sup>	-0.0109	0.0982	0.3870	-0.0560
	b <sub>55</sub>				0.0576	-0.0866	-0.3815	-0.0735
	F <sub>2</sub>	7.1960 <sup>**</sup>	2.6530 <sup>*</sup>	1.6500	1.6275	2.0388	1.9644	2.1680
	R	0.8640	0.7214	0.7590	0.8645	0.8874	0.8839	0.8922
与干重	r	0.6820 <sup>**</sup>	-0.4130	0.1013	-0.0655	-0.1091	0.3605 <sup>*</sup>	0.1138
	P	0.6402	-0.1750	0.1763	0.3414	0.6391	0.5493	
与产量	r	0.6274 <sup>**</sup>	-0.2733	0.2184	0.1560	-0.1922	-0.0723	-0.2367
	P	0.6542	-0.0645	0.1375	0.2052	-0.0337	-0.2727	

NAR 在各生育时期与主要栽培因素的关系不十分显著,总的趋势是随密度的增大而减少,随肥料投入的增加而提高(见图 7)。其它因素为 0 水平时,某因素  $X_i$  与平均 NAR 的效应函数为:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 6.792 + 0.0739X_1 + 0.1004X_1^2; Y_2 = 6.792 + 0.0398X_2 - 0.0924X_2^2; \\ Y_3 &= 6.792 - 0.204X_3 + 0.0234X_3^2; Y_4 = 6.792 + 0.0536X_4 - 0.056X_4^2; \\ Y_5 &= 6.792 - 0.1184X_5 - 0.0735X_5^2. \end{aligned}$$

各因素对平均 NAR 影响大小顺序为密度( $X_3$ )> 穗肥氮量( $X_5$ )> 种肥磷量( $X_1$ )> 拔节肥氮量( $X_4$ )> 种肥钾量( $X_2$ ); 当  $X_5 > -0.805$ 、 $X_4 > 0.479$ 、 $X_2 > 0.215$  时, NAR 呈下降趋势; 而平均 NAR 主要随密度( $X_3$ )增大而下降, 当  $X_3 > 1$ , NAR 下降幅度减缓; 平均 NAR 基本随



种肥磷量( $X_1$ )增大而提高。

整个生育期间, NAR 的变化呈双峰曲线(见图 8), 当各因素为 0 水平时, 出苗后的 20~40 d(苗期~拔节期)出现第一高峰, NAR 达  $12.82\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ ; 出苗后 40~60 d(拔节期~大喇叭口期), 随着生育中心的转移, NAR 下降到  $5.74\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ ; 第二高峰出现在出苗后 60~74 d(大喇叭口~散粉期), NAR 约为  $8.09\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ ; 之后随干物质积累速度的减缓 NAR 又呈下降趋势为  $6.31\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ , 灌浆~完熟期略有回升。

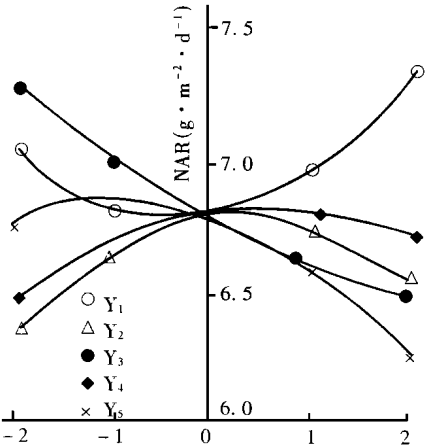


图 7 各因素平均 NAR 的效应曲线

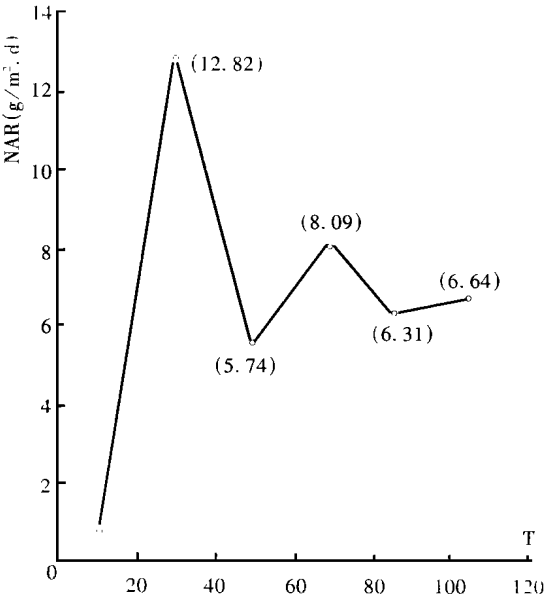


图 8 不同生育时期 NAR 变化

11 250 kg/hm<sup>2</sup> 各生育时期的 NAR 为: 苗期(出苗后 1~20 d)0.73~0.75 g/m<sup>2</sup>·d, 苗期~拔节期(20~40 d)12.6~12.9 g/m<sup>2</sup>·d, 拔节~大喇叭口期(40~60 d)5.53~5.72 g/m<sup>2</sup>·d, 大喇叭口~散粉期(60~74 d)7.83~7.97 g/m<sup>2</sup>·d, 散粉~灌浆期(74~91 d)5.61~5.85 g/m<sup>2</sup>·d, 灌浆~完熟期(91~115 d)6.92~7.16 g/m<sup>2</sup>·d, 整个生育期平均 NAR 为 6.77~6.79 g/m<sup>2</sup>·d。

1996 年对 11 250 kg/hm<sup>2</sup> 优化栽培的各群体光合性能指标参数进行验证(见表 9), 实测

表 9 11250kg/hm<sup>2</sup> 优化栽培的群体光合性能指标参数及验证

指 标		苗期	拔节期	大喇叭口	散粉期	灌浆期	完熟期
出苗后天数(d)	a	20	40	60	74	91	115
	b	20	40	58	74	91	114
单株叶面积(cm <sup>2</sup> )	b	140.2	2386.5	6726.3	7315.8	6402.2	4586.0
单株干重(g)	b	0.83	21.2	70.5	142.5	211.4	308.8
LAI	a	0.091~0.095	1.59~1.64	4.40~4.45	4.83~4.94	4.53~4.72	2.97~3.05
	b	0.098	1.665	4.691	5.103	4.465	3.119
LAD(万 m <sup>2</sup> ·d/hm <sup>2</sup> )	a	10.97~11.03	17.70~18.30	59.25~60.30	64.35~65.55	79.8~82.35	90.30~93.60
	b	10.98	17.63	57.21	78.36	81.33	88.14
NAR(g/d·m <sup>2</sup> )	a	0.73~0.75	12.59~12.91	5.53~5.72	7.83~7.97	5.61~5.85	6.92~7.16
	b	0.746	12.852	6.540	6.413	5.918	7.779
DW(kg/hm <sup>2</sup> )	a	55~57	1418~1433	4419~4604	9479~9900	13988~14717	20645~21314
	b	58.5	1471.0	4917.0	9939.0	14745.0	21538.5

注: a 参数 b 验证实测

值与参数十分贴近,说明群体光合性能指标参数对指导生产具有一定的可行性。

### 3 结论与讨论

春玉米不同生育时期的群体光合性能指标模型,定量地揭示了综合农艺措施对各指标的影响及关系,也揭示了各指标的动态变化规律,为高产优化栽培的目标化、定量化管理提供了理论依据。

11 250 kg/hm<sup>2</sup> 优化栽培的群体光合性能指标参数为:叶面积系数:苗期 0.091~0.095,拔节期 1.59~1.64,大喇叭口期 4.40~4.45,散粉期 4.83~4.94,灌浆期 4.53~4.72,完熟期 2.97~3.05;总光合势为 320.4~329.9 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>,其中大喇叭口~散粉期为 64.35~65.55 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>,散粉期~灌浆期 79.80~82.35 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup>;平均净同化率为 6.77~6.79 g/m<sup>2</sup>·d。

叶面积系数在整个生育期间呈单峰曲线变化,峰值出现在散粉期前后,但对产量影响较大的是灌浆期的 LAI,散粉期次之。最大 LAI 与产量的关系也呈单峰曲线,最大 LAI 在 5.8 以下时,产量随 LAI 的增大而提高,这种关系已同紧凑型品种最适 LAI 相近<sup>[4~6]</sup>,可见株型的紧凑或平展并不等于耐密性的大小。品种的耐密性不仅受株型影响,同时也受栽培技术等因素影响,在高密度下具有良好的结实性、秆强不倒、抗病。

光合势的动态变化及与产量的关系同 LAI 相类似,在 LAD、NAR 和经济系数三个主要因素中,LAD 对产量的直接影响最大。在总 LAD<362.7 万 m<sup>2</sup>·d/hm<sup>2</sup> 时,与产量呈正相关关系,而且生物产量的大小主要受大喇叭口~散粉期的 LAD 影响( $r=0.7279^{**}$ ,直接通径系数  $P=0.5592$ ),子粒产量则主要受散粉~灌浆期的 LAD 影响( $r=0.7942$ ,  $P=1.0063$ ),保持散粉后具有较大的光合面积和持续时间是提高产量的保证。

在整个生育期间,内单 4 的净同化率(NAR)变化呈双峰曲线,但其峰值较紧凑型品种有所提前<sup>[7~12]</sup>,第一峰值出现在出苗后 20~40 d,第二峰值出现在出苗后 58~74 d(大喇叭口~散粉期),并在灌浆后又有所回升。各生育阶段的 NAR 与产量的关系不显著,NAR 的变化主要受自身生育时期的影响,受栽培因素的影响较小。

### 参考文献:

- [1] 鲍巨松. 不同株型玉米品种高产潜力及特征研究[J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 48—51.
- [2] 胡昌浩,等. 高产夏玉米群体生理参数初探[M]. 见:佟屏亚主编. 黄淮海玉米高产文集. 杨陵:天则出版社,1990. 171—180.
- [3] 尹枝瑞,等. 吉林省玉米高产区高产高效栽培技术与生育生理指标的研究[J]. 玉米科学, 1994, 2(3): 32—40.
- [4] 山东省农科院玉米所编. 玉米生理[M]. 北京:农业出版社,1987.
- [5] 王忠孝. 夏玉米高产规律研究. II 高产玉米的生理基础[J]. 山东农业科学, 1988, (5): 8—10.
- [6] 山东省农业科学院主编. 中国玉米栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986.
- [7] 邹琦,王学臣. 作物高产高效生理学研究进展[M]. 北京:科学出版社,1994.

- [8] 王树林, 袁志宏. 专家系统设计原理[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [9] 赵微平. 作物生理[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [10] 吴绍马葵等. 玉米栽培生理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [11] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 吉林: 吉林科学技术出版社, 1986.
- [12] 裴鑫德. 多元统计分析及其应用. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.

## Effects of Optimum Cultivation on Population Photosynthetic Character in Spring Maize

HOU Xu-guang, FENG Yong

(Inner Mongolia Academy of Agricultural Sciences, Huhehaot 010031)

**Abstract:** With spring maize Neidan 4 as experimental material and five factor-second universal regression ratary group design (1/2), the effects of main cultivation factos on physicological indices were systematically studied by means of setting up index model of population photosythetic character accordingly. The result showed that relationship of the highest leaf area index(LAI)and total leaf area duration (LAD) with yield presented change curve of single peak, yield presented upward tendency when the highest LAI $< 5.8$  or total LAD $< 3.627 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{d/ha}$ , LAI at filling stage and LAD in blooming-filling stage had more important effects on yield, bigger green leaf area and longer time after blooming could contribute to yield improvement. Under the conditions of local production, the optimun cultivation for 11250 kg/ha of Neidan 4 was following: density was 68850—70650 plants/ha; seed maurer: N30 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 96.75—108.15kg/ha, K<sub>2</sub>O 66.75—74.4 kg/ha; top dressing N, 131.85—145.65 kg/ha at stem elongation, 102.0—117.3 kg/ha at heading stage. Index parameter of population photosythetic character was: the highest LAI 4.83—4.94, total LAD  $3.204 \times 10^6$ — $3.297 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{d/ha}$ , averaging 6.77—6.79 g/m<sup>2</sup>·d, in witeh LAD  $7.98 \times 10^5$ — $8.235 \times 10^5 \text{ m}^2 \cdot \text{d/ha}$  in blooming-filling stage.

**Key words:** Maize; Optimum cultivation; Population photosythetic character; Yeild; Mathemati-cal model