

黄 麻 高 产 栽 培 理 论 研 究

— 种植密度与群体光合性状及干物质生产*

梁计南 罗国兴
(农学系)

提 要

本试验以黄麻圆果种粤圆五号为供试品种，研究了三种密度群体的光合性状和干物质生产的变化。

各生长期不同密度的群体，叶面积和干物质产量都有显著的差异，这是由于株数不同所致；群体内光强分布和净同化率的差异不大；经济系数保持恒定。同一密度的群体，叶面积及干物质产量随生长而变化，主要是由于单株叶面积及干物质产量的变化所致。

在试验范围内，总叶面积的变异范围比平均净同化率的变异范围大，总叶面积与干物质产量呈极显著正相关 ($r=0.7517^{**}$)，总叶面积的变异是干物质产量不同的主要原因。

因此，高产栽培主要是采用适当的农业技术措施去促进叶面积的有利发展，而在目前生产上采用的种植密度范围内，企图通过改变种植密度来提高净同化率及经济产量系数以致增加干物质产量的可能性是不大的。

前 言

植物干物质生产的基础，就是其叶子光合作用活动所合成的有机物质的生产。然而，群体的光合性状对植物群体光合作用及干物质生产的影响很大，因此，研究黄麻群体光合性状和干物质产量的变化特点，在黄麻高产栽培理论研究中具有重要意义。

过去，涂教鑫等^{[1][2]}作过类似的研究，明确了一些黄麻群体光合性状及产量变化的规律；另一些资料^{[3][4][5]}只注意到黄麻群体密度、肥料、品种与产量的直接关系。这些，都在生产上有一定的参考价值，但尚缺乏足够的理论根据说明产量变异的原因。为此首先应当弄清楚种植密度对群体的叶面积、叶群结构、群体内光强分布、群体净同化率、产量经济系数、群体干物质产量等因素有什么影响，以及这些因素之间的相互关系；然后找出产量差异的原因，为黄麻高产栽培实践提供理论依据。

材 料 和 方 法

(一) 本试验用黄麻圆果种粤圆五号做材料，分三种密度处理：稀植区(15000株/亩)、

* 广东省农业厅陈林福、刘清同志和本院农学系学生罗敏、莫炳东、韦祖和参加了部分测定工作；文稿修改时，李明启教授提出了宝贵意见，谨此致谢。

中等植区(20000株/亩)和密植区(30000株/亩), 试验区随机排列, 6次重复。试验区面积0.04亩, 区内种18行, 行距一尺, 4月1日播种, 5日全苗, 8月12日收获, 管理水平较高于一般大田生产, 所有试验区的干皮产量(测产)在866—1176斤/亩范围内。

(二) 于出苗后33天开始, 以后每隔15天左右, 分别将3平方市尺地面上的麻株平地表割取作为样本, 测定样本的干物重(干物质产量, 在103°C温度下烘干称重)及叶面积, 并把样株从基部起, 每隔30厘米为一层, 分别测定各层的叶面积。叶的各项测定包括叶柄、腋芽及叶片。

(三) 取样前用照度计在散射光条件下(阴天)测定群体各层的光强度, 并以当时测定的自然光强度为100%, 换算为相对光强。

(四) 各生长期间的群体净同化率用公式:

净同化率 = $\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \div \frac{L_2 + L_1}{2}$ (克/米²/日) 计算, 式中 W_1 和 W_2 分别是某生长期间开始和结束的干物质产量; $t_2 - t_1$ 是间隔天数; L_1 和 L_2 分别是开始和结束的叶面积。相应期间的叶面积积数(米²·日)用 $\frac{L_2 + L_1}{2}$ 乘上间隔天数来计算。全生长期群体总叶面积(米²·日)是各期间叶面积积数的总和, 平均净同化率是最后的干物质产量/总叶面积(克/米²/日)。

(五) 对各生长期不同密度的群体或单株的叶面积、干物质产量, 净同化率及经济系数等数据进行方差分析。

试验结果

(一) 种植密度与光合性状

1. 叶面积的变化: 黄麻群体叶面积指数随种植密度及生长而变化的状况如图1所示。种植密度大的群体, 叶面积指数在任何生长期始终保持最高。方差分析结果表明, 各生长期密植区与稀植区群体叶面积指数的差异都达显著水平。不同密度下群体叶面积指数随生长而变化的趋势是一致的, 即生长前期增大较慢, 以后迅速扩展, 达到一定面积时趋于稳定, 然后下降。与群体叶面积指数的变化相反, 各生长期密植区的单株叶面积显著小于稀植区的单株叶面积, 种植密度小的群体, 单株叶面积始终保持最高, 但随生长而变化的趋势与群体叶面积指数的变化趋势相似(见图2)。

从以上的结果可推论: (1)群体叶面积随生长而变化, 主要是由于单株叶面积的变

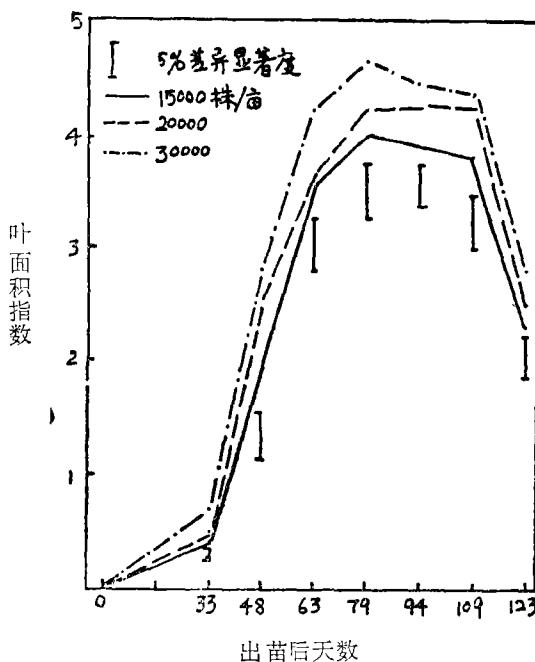


图1 不同密度下群体叶面积指数的变化及比较

化所致，因为群体叶面积及单株叶面积随生长而变化的趋势是一致的；（2）虽然稀植区单株叶面积显著大于密植区单株，但密植区群体的叶面积指数显著大于稀植区群体。显然，不同密度下黄麻群体叶面积指数主要受株数的影响。

对不同密度下群体总叶面积进行比较，结果如下：密植区群体的总叶面积为 $345\text{米}^2\cdot\text{日}/\text{米}^2$ ，中等植区及稀植区的相应值为309及282，不同密度间5%差异显著度为 $12.8\text{米}^2\cdot\text{日}/\text{米}^2$ 。以上可以说明不同密度下群体总叶面积的差异是显著的。

2. 叶群结构及光强在群体内的分布：黄麻群体内各层叶面积密度及光强在群体内的分布状况如图3、4所示。叶面积密度是单位空间具有的叶面积数，大致可反映出群体叶群结构的一个方面。

从图3可看出，在生长早期（出苗后48天），不管种植密度如何，群体的第一叶层（顶层）叶面积密度最大；以后各生长期，除稀植区群体始终保持第一叶层的叶面积密度最大外，中等植区及密植区群体的叶面积密度的最大值出现在第二、三叶层，形成中间膨大形分布；同一群体，生长早期的叶面积密度有比其他生长期的叶面积密度大的趋

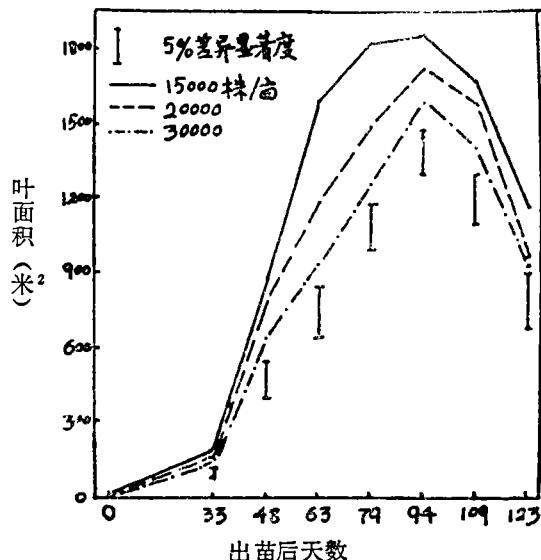


图2 不同密度下单株叶面积的变化及比较

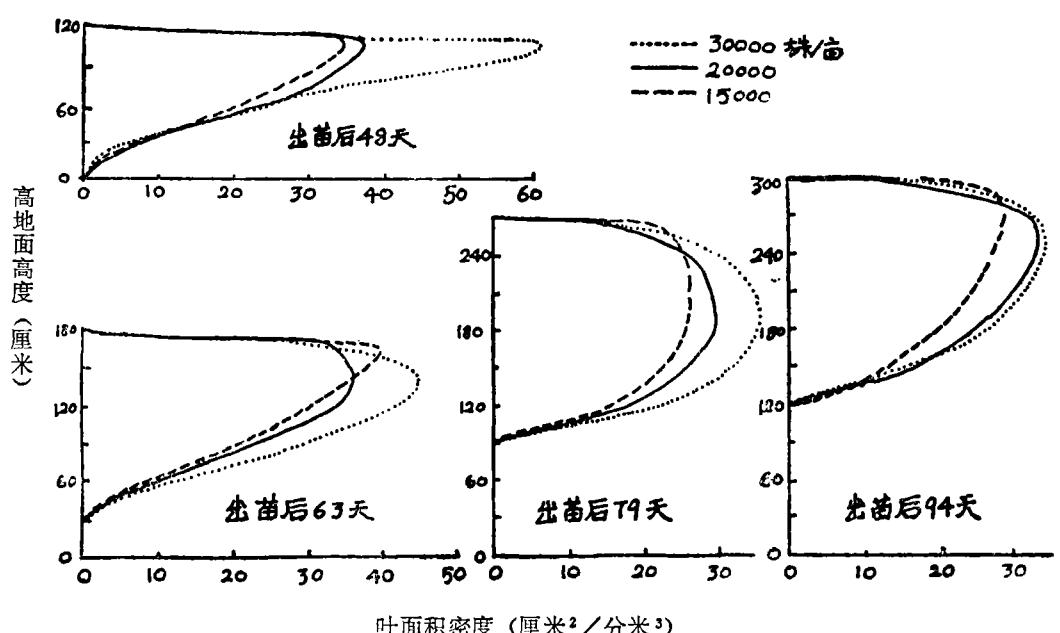


图3 群体叶层叶面积密度的变化。图中曲线是以各叶层叶面积密度对该层离地面高度在坐标上绘出散点图，然后修匀为较平滑的曲线。

势；而同一生长期，密度大的群体的叶面积密度比密度小的群体为大。

图4中所示的各密度群体内光强分布曲线大致与门司和佐伯^[6]绘出的阔叶型植物群体内光强分布曲线相似。从图4可见，各群体第二、三叶层的光强迅速消减，但较下层的光强消减较慢；不同密度下群体内光强分布的差异较小，与密度小的群体相比，密度大的群体，群体内光照状况较差。

表1 不同密度下群体的消光系数*

密度 (株/亩)	离地面高度 (cm)	240	210	180	150	120	90	平均
15000		0.82	0.78	0.84	0.79	0.82	0.84	0.82
20000		0.78	0.97	0.83	0.78	0.82	0.84	0.84
30000		1.06	0.77	0.88	0.86	0.78	0.80	0.86

*于出苗后79天测定

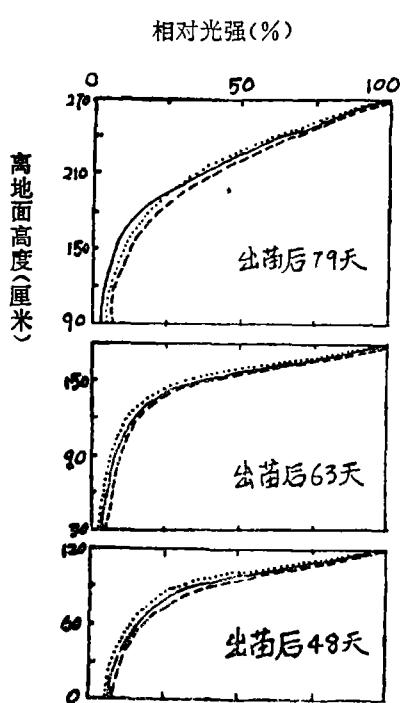


图4 不同密度下群体内光强的变化。绘图方法与图3同。

……30000株/亩
——20000/亩
---15000/亩

阶段，干物质产量的显著差异主要存在于密植区与中等植区及稀植区之间；而在生长的较后阶段，干物质产量的差异则主要表现在密植区群体与稀植区群体之间，密植区群体

门司等^[6]论述了群体内光强消减对叶量的关系可用Beer—Lambert公式的一般形式 $I = I_0 e^{-kF}$ 表示（其中 I 为群体内水平光强， I_0 为人射光强， F 为叶面积指数， k 为消光系数）。用这一公式计算各密度群体在最旺盛生长期（出苗后79天）的消光系数列于表1。可见种植密度小的群体，其消光系数比种植密度大的群体的消光系数小，即意味着前者的透光率较大，可以从图5中不同密度下群体的透光率的变化看到。不过，不管是消光系数还是透光率，各密度群体之间的差异很小。另外，从图5中还看到，群体透光率随生长而变化的状况。在生长早期，各群体的透光率高达50%左右，表明群体叶层只能截获一半左右的入射光。随着麻株的生长，群体透光率急剧下降，最低值只有2%左右，表明群体叶层几乎截获了全部入射光。

（二）种植密度与干物质生产

1. 干物质产量的变化：图6表明了不同密度下群体干物质产量随生长而变化的状况，并绘出了干物质产量之间的差异显著度。

方差分析结果表明，各生长期不同密度下群体干物质产量之间的差异都达显著水平。在生长较早

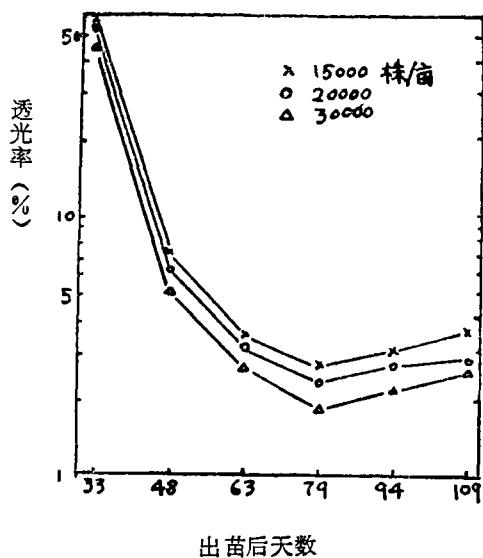


图5 不同密度下群体透光率的变化

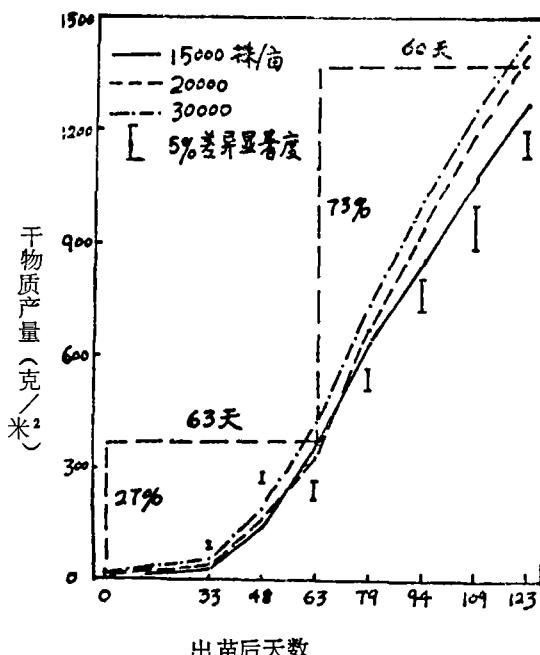


图6 不同密度下群体干物质产量的变化及比较

与中等植区群体之间的差异并不显著，但密植区群体的干物质产量始终高于其他群体。

不同密度下群体干物质产量随生长而增加的趋势是一致的。在出苗后63—94天期间，增加的速度最快。从各时期干物质累积百分率来看，生长后半阶段的累积是主要的，大约占总量的73%，生长前半阶段只占27%（三密度群体平均值）。

单株干物质产量的变化如图7所示，种植密度愈大，单株干物质产量愈小。对不同密度下单株干物质产量进行方差分析的结果表明，除出苗后33天一期外，其余各生长期的差异都达显著水平，不过这种差异多数只局限于密植区群体与稀植区群体之间。不同密度下单株干物质产量随生长而变化的趋势与群体干物质产量的变化趋势基本相同。

种植密度与群体及单株干物质产量之间的关系可以说明：密度大的群体的干物质产量之所以较大，主要是群体具有较多植株数量的缘故；同一密度群体的干物质产量的增加主要是由于单株干物质产量的增加

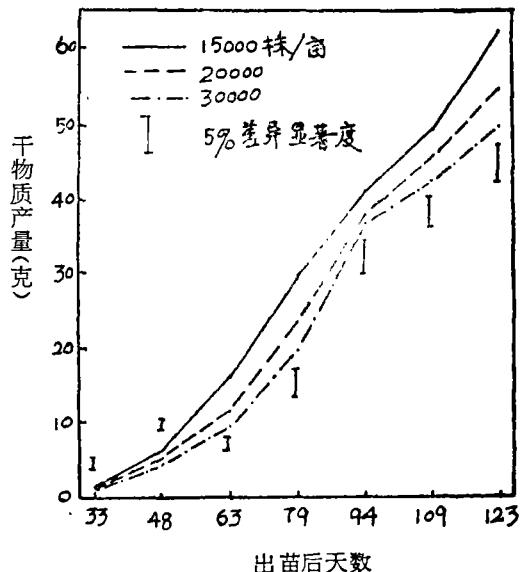


图7 不同密度下单株干物质产量的变化及比较

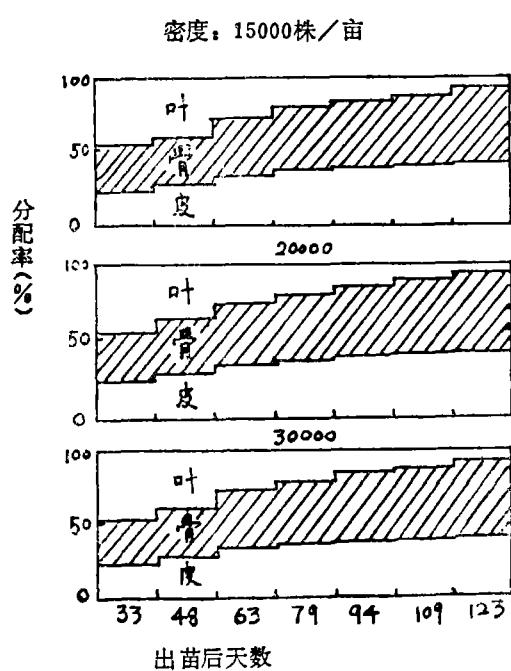


图 8 不同密度下单株地上部干物质在皮、骨、叶的分配。

所致。

2. 干物质在各器官的分配及经济系数：图 8 表示了各生长期不同密度下单株地上部干物质在皮、骨、叶的分配状况。

从图 8 可看出，麻株地上部的主要器官的生长有一定的顺序性，不同生长期有不同的生长中心。不管密度如何，生长前期的干物质有 50% 左右用于叶片的生长，随着生长，用于叶片生长的干物质比例逐渐减少，到中、后期，特别是后期，绝大部分的干物质是用于皮、骨的增重。这可能是黄麻植株本身适应环境而进行自我调节的遗传特性。

不同生长期各密度单株经济系数（皮干重／总干重）的变化如表 2。就不同密度下各单株经济系数进行方差分析表明，F 数值相当低，均未达显著水平。各密度单株经济系数随生长而变化的趋势基本相同，即由小变大，说明了黄麻地上部各主要营养器官之间的生长具有一定的协调性和比例关系，种植密度对它的影响较小。

养器官之间的生长具有一定的协调性和比例关系，种植密度对它的影响较小。

表 2 不同密度下单株经济系数(%) 的变化及比较

密度 (株/亩)	出苗后天数	33	48	63	79	94	109	123
		23.5	25.7	33.7	36.8	37.3	38.0	39.5
15000		23.4	26.7	33.5	36.3	37.9	38.4	39.3
20000		23.4	27.3	33.9	36.6	37.2	38.9	39.1
F 值		0.009	1.912	0.121	1.456	2.010	1.937	0.140

$$d.f. = 2/10, F_{0.05} = 4.103$$

3. 净同化率的变化：不同密度下黄麻群体净同化率的变化如图 9 所示。不管密度如何，净同化率随生长而变化的趋势基本一致，即早期较低，最高值出现在出苗后 34—48 天期间，以后各期间趋向下降，但不同生长期，同一群体净同化率数值的变动较大。从图 9 还可以看出，不同密度下群体净同化率，除出苗后 49—63 天期间的差异显著外，其余各生长期的差异均不显著。但密度大的群体，净同化率有偏低的趋势。不同密度下群体平均净同化率的差异不显著。

(三) 叶面积和净同化率的变异在决定干物质产量上的重要性

有关作物群体叶面积和净同化率的变异程度及它们与干物质产量的关系, 有过很多报道^{[5][6][11][12][16][17][18]}, 大致结论如下: 平均净同化率的变异范围比叶面积的变异范围小, 干物质产量变异的原因, 主要是叶面积的变异, 平均净同化率的变异是次要的。这些结果都不是以黄麻做试验材料而得到的。本着探讨黄麻群体总叶面积和平均净同化率的变异程度及它们与干物质产量之间的关系, 将试验资料综合于图10。

从图10可见, 群体总叶面积与干物质产量呈极显著正相关 ($r = 0.7517$), 但群体平均净同化率与干物质产量呈弱负相关 ($r = -0.0541$)。另外, 从图中各散点距平均值 + 的横向距离可看出, 总叶面积的变异幅度比平均净同化率的变异幅度大。因而, 不同黄麻群体干物质产量的差异, 主要是由于总叶面积的变异所致, 平均净同化率对干物质产量的影响不大。

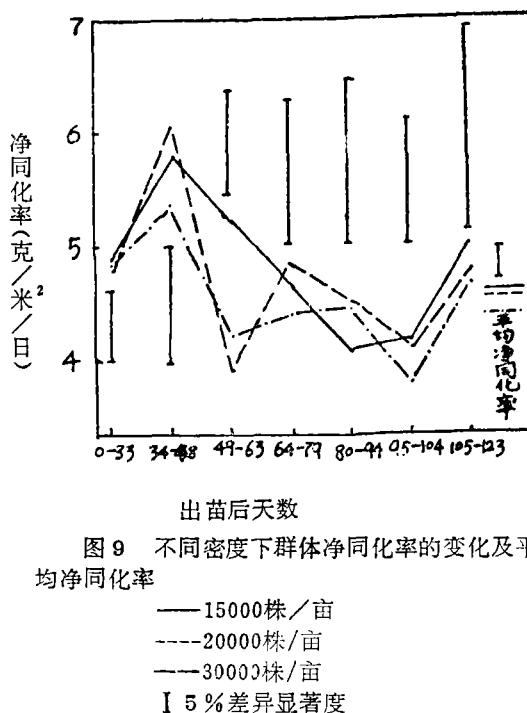


图9 不同密度下群体净同化率的变化及平均净同化率

— 15000株/亩

--- 20000株/亩

-· 30000株/亩

I 5% 差异显著度

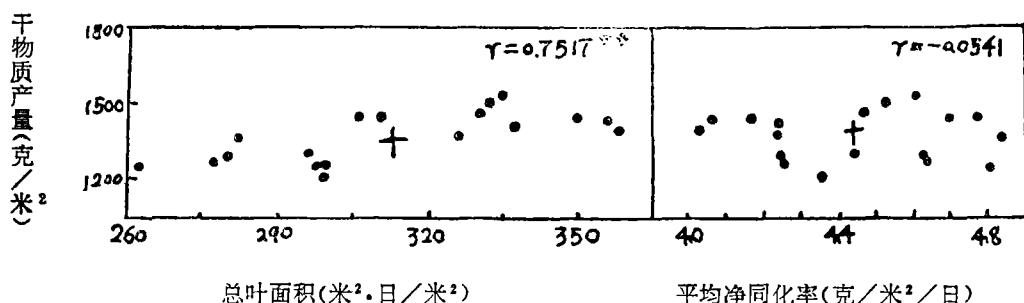


图10 群体总叶面积及平均净同化率与干物质产量的关系。总叶面积和平均净同化率的坐标经过调整, 平均值(以十代表)的横坐标近乎相等。

为了进一步证实上面所说, 将干物质产量 (Y)、总叶面积 (X_1) 和平均净同化率 (X_2) 进行复回归分析, 回归关系达 5% 显著水准, 求出两个标准偏回归系数 ($b'_{yx_1} \cdot x_1 = 1.2945$, $b'_{yx_2} \cdot x_2 = 0.6214$), 并加以比较, 可以说明, 总叶面积 在决定干物质产量上的重要性, 大约两倍于平均净同化率。

讨 论

(一) 试验结果表明, 黄麻群体干物质产量的主要原因可归结于群体总叶面

积的变异，平均净同化率的变异只是次要的原因；不同密度下群体叶面积和干物质产量都受到株数的强烈影响；群体叶面积随生长而变化，主要是由于单株叶面积的变化所致。因而，在生产上依靠提高总叶面积而增加干物质产量的可能性比依靠提高平均净同化率而增加干物质产量的可能性大，特别

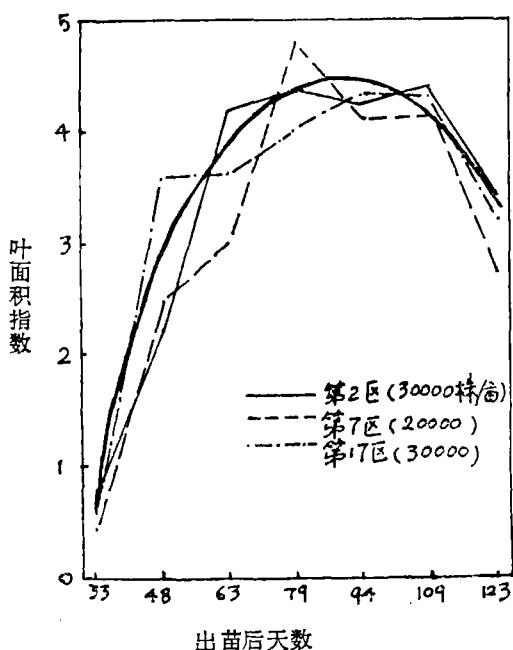
在生产水平较低，叶面积指数较小的麻田，应主要着眼于利用有效的栽培技术措施增加群体叶面积，套种麻由于共生期间叶面积不可能充分扩展，主作收获后，也应考虑使群体叶面积尽快增长。但是，群体叶面积的过量增大，多少伴随着平均净同化率的降低^{[7][8][11][12]}。群体干物质产量因叶面积增大而增加的程度，还有赖于净同化率受叶面积的改变而影响的程度。因而，必然会提出适宜的种植密度及叶面积发展程度应当如何才不会过分地降低净同化率而有利于干物质产量的增加。关于这一问题，作者根据试验结果只能提供如下情况：种植密度在20000—30000株/亩时，不同密度下群体净同化率和干物质产量的差异都不显著，最高密度群体的叶面积发展对干物质产量的影响还是有

图11 三个高产小区的叶面积发展动态。图中平滑曲线是按三试验区平均值的折线图经过修匀而得。

利的；图11表明了干物质产量最高的三个试验区的叶面积发展动态，第17区群体叶面积早期发展得快，以后平稳地发展，虽然最高叶面积指数不及其他两区，但由于保持较长时间有较大的叶面积指数，因而总叶面积最大（335米²·日/米²），干物质产量也最高（1536克/米²）；目前，广东省主要麻区高产栽培每亩定苗株数在16000—25000之间^[3]，联系我们的试验结果来看，其下限似乎低些，生产水平较高的地区，亩定苗20000—25000株是可取的，而生产水平较低，亩定苗25000—30000株可能较为适宜。

涂敦鑫等^[1]曾就沅江地区的黄麻生产提出过叶面积指数发展的程序：封行期为1，封行后增至3—4，盛长期保持在4—5，开花后逐渐下降。尼奇波罗维奇^[8]指出，合适的叶面积变化因不同地理区域可以不同，甚至同一植物在同一地区亦可因土壤肥力、光照和温湿度不同而在不同年份产生差异。因此，要提出一个适当的发展程序，就需要运用更多的有关资料。然而，目前这方面的资料却非常少，有必要继续进行试验研究去积累，分析和运用这些资料。

各生长期群体叶面积的大小并不直接受定苗株数的影响，而是受当时存活株数的影响。这样，群体叶面积的增大及保持，将有赖于尽量减少死株或小株，保证群体有较多的有效株数，并且在有较多有效株数的情况下，运用适当的栽培技术措施，不致于过分影响单株的壮旺生长。否则，定苗的多少将不存在实际意义。



出苗后天数

(二)试验结果表明，黄麻群体各生长期间的净同化率数值变动较大。Watson^[5]曾经就其他作物的试验提出过类似的观点，并指出净同化率的短时期波动，主要是由于气候因素的短时期改变。如果这样，由于气候因素在目前还难以控制，因此，企图运用栽培技术措施来提高净同化率就有一定困难。况且，靠增加净同化率而增加产量的可能性也不大^[5]。

群体净同化率因叶面积指数的增加而降低，主要原因是叶片的相互遮阴而恶化了田间小气候，特别是对净同化率敏感的光照条件所致^{[2][10][19]}。而在试验范围内，黄麻群体叶面积指数虽然随密度的增大而增加，但不同密度群体间净同化率的差异不显著，这可能是由于试验密度范围内的最大叶面积，尚不至于过大地降低群体内光强而使群体净同化率明显下降。

(三)试验结果证明，不同密度下黄麻群体的经济系数保持恒定。涂敦鑫等^[1]也证明，在更大的密度范围内并未发现黄麻群体的经济系数存在着显著差异。那么在生产上企图通过改变种植密度来提高黄麻的经济系数而提高经济产量的可能性不大。既然经济系数恒定，则可推测群体干物质产量与皮重之间存在着高度正相关关系，综合于图12的试验结果充分证明了这一点。那么应该从提高群体干物质产量的角度来提高群体的经济产量。

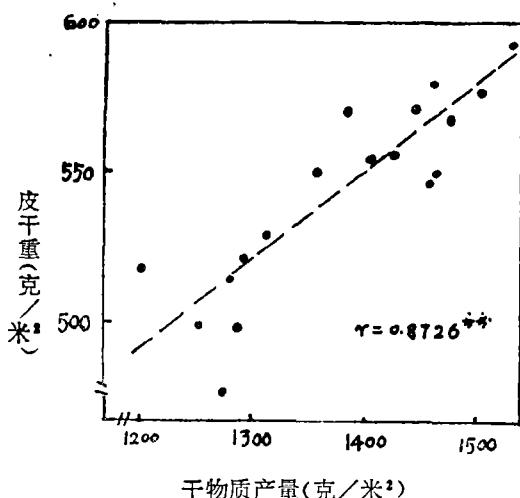


图12 群体内受光状态受群体叶量、叶群结构及光的投射方式的影响^[7]。由于光投射方式对试验中各群体基本一致，因而群体内光强分布的差异，主要是因叶量及叶群结构而异。密植区群体叶面积显著大于稀植区群体，本应引起群体内光强分布的较大差异，但实际上差异甚小，这很可能是由于密植区群体叶群结构有利于光的透过，补偿了叶量较大对光透过性的不利影响。曾经有人指出，叶片的空间排列方式及着生角度影响到群体内光强分布^{[6][7]}。因而，需要进一步研究黄麻群体叶群结构与光强分布的关系，以详尽地了解群体内光强分布的变化。

(六)在黄麻生产上，近年来有人主张推广宽窄行种植方式^{[3][13]}，其主要理论依据是：与目前生产上普遍采用的等距行植相比，这种种植方式有利于群体的通风透光，群体内光照状况较为优越，群体封行较迟，因而有利于光能利用，以致提高了产量。但尚未明确群体内光照状况是指宽行间还是窄行间而言，也不明确群体内通风透光好、封行

较迟是由于群体叶面积小还是由于叶面积分布不均匀或其他因子所致。因此这种通风透光等优点并不能说明群体的光能利用率高。考虑到宽窄行种植玉米导致减产^[10]以及广东省用宽行窄株种植水稻导致部分地区增产而另一部分地区减产的经验，因而有必要通过较严密的试验研究，以详尽地了解两种种植方式是怎样引起群体叶面积及其结构和光强在群体内分布的差异、群体对光能的利用及干物质产量上的差异，为生产上选择和改进这两种种植方式提供理论依据。

(七)已知在种植密度不同的条件下，群体叶面积是决定产量的主要因素和群体或单株干物质产量及叶面积的一些变化规律，但要进一步了解群体干物质产量变化的原因，还有赖于从生理生态上进一步掌握有关叶面积在数量上及质量上变化的全面知识。另外，叶面积的变化乃至干物质产量的差异是外界因素对于麻株全部生理过程和形态因素的影响及麻株本身的遗传性所致。因此有必要从栽培上研究如何控制外界因素以及从育种上研究选育黄麻优良品种的目标及方法，为黄麻高产栽培提供各方面的基础理论依据。

参 考 文 献

- [1] 涂敦鑫等,1963,黄麻群体结构与光合性能的研究,《麻类研究所年报》81—108。
- [2] 涂敦鑫等, 1963, 黄麻高产栽培技术研究, 《麻类研究所年报》125—144。
- [3] 湛江地区黄麻高产攻关协作组, 1980, 黄麻高产攻关的初步总结, 《中国麻作》3 : 1—4。
- [4] 王英娇,1980,黄麻不同品种、密度、肥料的试验研究, 《中国麻作》3 : 10—11。
- [5] D.J.华德生(奚元龄译), 1952, 作物产量变异的生理基础, 《作物产量变异的生理基础》(译文集) 51—90, 科学出版社, 1960。
- [6] 门司正三、佐伯敏郎(朱健人译), 1953, 植物群体中光因素及其对植物生产的作用, 《光合作用与作物生产译丛》(2) : 1—24。农业出版社,1980。
- [7] 户刈义次(薛德榕译), 1971, 《作物的光合作用与物质生产》, 科学出版社, 1979。
- [8] A.A.尼奇波罗维奇(殷宏章译), 1957, 光合作用与产量问题, 《作物产量变异的生理基础》(译文集), 29—51, 科学出版社, 1960。
- [9] 颜振德,1981,杂交水稻高产群体的干物质生产与分配的研究, 《作物学报》7 (1) : 11—18。
- [10] 许章全等,1964,春玉米密植定额和种植方式研究,《作物学报》3 (3) : 229—246。
- [11] 荆家海,1963,气象因素和农业技术措施对冬小麦净光合率的影响, 《作物学报》2 (3) : 303—320。
- [12] 大野义一(屠曾平译), 1976, 《籼稻光合效率的品种间差异和干物质生产》农业出版社, 1981。
- [13] 广东省吴川县黄麻技术推广站, 1980, 科学种黄麻, 低产变高产——广东省吴川

县三十年黄麻生产总结，《中国麻作》2：1—4。

- [14] R.G.D.斯蒂尔等（扬纪珂等译），1960，《数理统计的原理和方法》科学出版社，1979。
- [15] Gupat, S.K. et al. 1978, Response of JRO-632 Tossa jute to different levels of nitrogen and spacing. Indian J. Agric. Sci. 48(8)473-479.
- [16] Heath, O.V.S. and Gregory, F. G., 1938, The constancy of the mean net assimilation rate and its economic importance. Ann. Bot. 2: 811-818.
- [17] Watson, D.J., 1947, Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Ann. Bot. 11:41-47.
- [18] Watson, D.J., 1947, Comparative physiological studies on the growth of field crops. II. The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. Ann. Bot. 11:375-407.
- [19] Watson, D. J. , 1958, The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. Ann. Bot. 22:37-54.

THEORIZATION OF THE FACTORS AFFECTING HIGH YIELD IN JUTE CULTURE—Planting Density and Its Effect upon Dry Matter Accumulation and Photosynthetic Behavior in the Plant Population

Liang Jinan Luo Guoxing

(Department of Agronomy)

ABSTRACT

In order to study the relationship between the planting densities and their effect upon variation in photosynthetic behavior and dry matter accumulation jute plants (*Crochorus capsularis* var. Guangdong 5) were planted in the field with three different densities at Guangzhou in 1981.

Regardless of the growth stage of the plants the leave area and dry matter accumulation differ significantly with different densities. This is due to difference in plant number. However, the vertical distribution of light inside the plant population and the net assimilation rate of the three different densities vary very little and the economic yield coefficient remain constant. To be sure, there is a variation in total leaf area and dry matter accumulation with the varying age or the growth of the plants but this is mainly due to the diverseness in the individual plant in the same plant population.

The total leaf area varies more widely than the mean assimilation rate and a significant positive corelation between the total leaf area and dry matter accumulation has been observed in all experimental plots ($r = 0.7517$). Consequently, the variation of dry matter accumulation caused by varying planting densities is mainly due to the changes in total leaf area.

Obviously, in order to raise the jute yield. we should do our most to choose proper agricultural techniques to promote the proficient development of total leaf area. However, any attempt to increase jute yield by raising the net assimilation rate or economic coefficient merely through resorting to dense planting, say from 15,000 or even up to 30,000 plants per mou, is doomed to fail.