

紧凑型玉米育种

于 伊



气象出版社



主	编	于 伊			
编	辑	于桂香	于维忠	王志范	王典章
		龙丽萍	宋文华	孙始良	孙春竹
		汤国民	牟林辉	邹德庆	侯洪德
		唐振国			

12-115/4

目 录

第一章 光能利用与玉米产量.....	(1)
一、玉米的光合作用.....	(1)
(一) 光合过程.....	(1)
(二) 光呼吸.....	(2)
二、影响光合作用的因素.....	(4)
(一) 光.....	(4)
(二) 二氧化碳.....	(4)
(三) 水.....	(5)
(四) 土壤pH值.....	(6)
(五) 温度.....	(7)
(六) 营养物质.....	(8)
三、玉米群体的光能利用.....	(8)
(一) 玉米的光能利用.....	(9)
(二) 群体的光能分布.....	(10)
(三) 光合性能分析.....	(13)
(四) 群体结构与合理密植.....	(17)
(五) 光能利用与玉米产量.....	(19)
第二章 玉米高光效育种.....	(20)
一、作物产量主要来自光合作用.....	(20)
二、光能利用需要进一步研究.....	(21)
三、玉米高光效育种途径.....	(22)
(一) 生理育种.....	(23)
(二) 株型育种.....	(25)
第三章 紧凑型育种.....	(32)
一、育种由来.....	(32)

二、育种要求	(33)
(一)株型标准	(33)
(二)性状	(34)
三、育种论据	(34)
(一)矮秆限制高产	(34)
(二)叶片角度与透光	(35)
(三)叶片形态与受光	(36)
(四)整体株型模式	(37)
(五)密植与保穗	(38)
(六)密植与“库”“源”关系	(39)
(七)紧凑型种的两点增产论	(40)
四、株型原种材料	(41)
(一)株型品种资源	(41)
(二)株型遗传规律	(44)
(三)产量相关规律	(46)
五、育种方法	(49)
(一)育种材料准备	(49)
(二)自交选系	(51)
(三)组合配制	(60)
(四)组合鉴定	(66)
(五)密植测验	(68)
(六)区域试验	(76)
六、育种进展	(77)
(一)株型选育进度	(77)
(二)产量选育进度	(78)
(三)理论研究进度	(78)
(四)今后任务	(83)
第四章 紧凑型种选育经过	(89)
一、育种简历	(89)

二、生产推广.....	(90)
三、选育新种.....	(91)
四、育种经验与问题.....	(92)
(一)紧凑型种体现了高光效育种.....	(92)
(二)紧凑型种从性能上说是复合育种.....	(93)
(三)紧凑型种形成产量的主导因素和不足因素.....	(94)
五、育成种介绍与育种体会.....	(96)
第五章 紧凑型种栽培法.....	(102)
一、紧凑型种的配套栽培.....	(102)
二、合理密植株数确定法.....	(102)
三、标准施肥.....	(103)
四、品种安排.....	(105)
五、播种与苗期管理.....	(106)
六、穗期管理.....	(106)
七、花粒期管理.....	(106)
八、适时收获.....	(107)
九、指标化栽培.....	(108)
(一) 500~600公斤的指标化栽培.....	(108)
(二) 600~750公斤的指标化栽培.....	(109)
(三) 750公斤以上产量的生理与生长要求.....	(111)
参考文献	

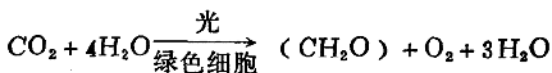
第一章 光能利用与玉米产量

紧凑型玉米的育种理论，主要受玉米光能利用理论的指导。在研究紧凑型育种方法之前，必须重温有关光能利用方面的基本理论，为紧凑型高光效育种提供科学依据。

一、玉米的光合作用

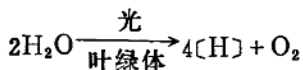
(一) 光合过程

光合作用就是绿色植物在光照条件下，利用二氧化碳和水合成富有能量的有机物质，放出氧气，同时把光能转化为化学能，并贮存在有机物中的过程。光合作用的总反应式为：

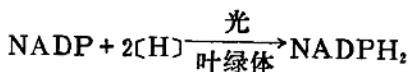


在光合作用总反应过程中，至少有四个分解过程，分解反应式如下：

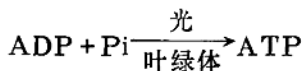
1. 水的光解：



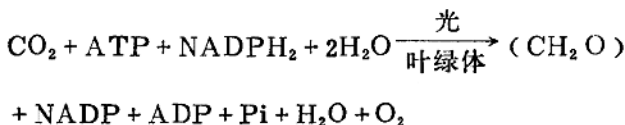
2. 还原能力的形成：



3. 光合磷酸化:



4. 二氧化碳固定:



植物从外界引入的 CO_2 ，被RUBP（二磷酸核酮糖）固定，在RUBP羧化酶的作用下，产生PGA（磷酸甘油酸）PGA在ATP和 NADPH_2 的作用下，被还原成GAP（磷酸甘油醛），GAP经过一系列的变化，最后再生成RUBP，往复进行，循环不已，无机的 CO_2 即变成有机的碳水化合物。由于这个循环的第一个产物是三碳化合物，故称 C_3 途径。利用 C_3 途径进行碳素同化作用的植物，称为 C_3 植物。这个循环是卡尔文（Calvin）发现的，故称卡尔文循环。如小麦、水稻、大豆、烟草等作物，只能利用 C_3 途径进行碳素同化作用，它们是 C_3 作物。玉米的碳素同化作用，除具有 C_3 途径外，还有另外一条同化 CO_2 途径，即 C_4 途径。这一途径与 C_3 途径联合起来，完成玉米的碳素同化作用。玉米因为具有 C_3 和 C_4 途径，所以被称为 C_4 植物。

（二）光呼吸

所谓光呼吸，就是绿色植物在光照条件下，在进行光合作用（吸收 CO_2 和放出氧气）的同时，还吸收氧气和放出 CO_2 ，由于这种呼吸作用是在光下进行的，所以称之为光呼吸。

玉米的叶肉细胞和维管束鞘细胞都含有叶绿素，它的光

合作用是两种叶绿体合作完成的，因此净光合强度大。叶肉细胞主要含磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶，含1,5-二磷酸核酮糖羧化酶则较少，含乙醇酸氧化酶也很少，因此玉米叶肉细胞基本不进行光呼吸。玉米维管束鞘细胞中虽然含较多的1,5-二磷酸核酮糖羧化酶和乙醇酸氧化酶，但由于一方面维管束鞘细胞外包围有紧密的叶肉细胞，叶肉细胞含有较多的磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶，可促进磷酸烯醇式丙酮酸和二氧化碳结合，另一方面维管束鞘细胞中由于光呼吸产生的二氧化碳，又可被叶肉细胞再次吸收利用，因此，玉米的光呼吸极弱，碳源损失少，光合效率高。有人提出，玉米光呼吸过程中消耗能量少，它的消耗仅占光合强度的6%以下。由于玉米的光呼吸低，光饱和点高，光补偿点低，光能利用率高，光合效率就高，有利于有机物的积累。玉米是C₄植物，它与小麦、水稻等C₃植物相比，其净光合强度是较高的（见表1-1）。

表1-1 玉米等C₄植物与小麦等C₃植物净光合强度、生长速度比较

作物种类		净光合强度 (CO ₂ 毫克/分米 ² /小时)	生长速度 (千重克/米 ² /周)
C ₄ 植物	玉米	46~63	47
	甘蔗	42~49	50
	高粱	55	43
C ₃ 植物	小麦	17~31	—
	水稻	12~30	—
	烟草	16~21	25

二、影响光合作用的因素

在生产条件下，对光合作用起主导作用的有光、二氧化碳、温度、营养物质、水、土壤pH值等。

（一）光

光是光合作用的能量来源。在一定范围之内，光照强度与光合强度成正比，光照愈强则光合强度愈大。玉米的光补偿点很低，往往因品种而异，一般情况下，玉米的光补偿点为1000~1500米烛光。如果光强在玉米的光补偿点以下，光合强度大幅度下降，则玉米的光合产物低于呼吸作用的消耗，即入不敷出，植物就停止生长，时间长了就会因饥饿而死亡。玉米的光饱和点是3~5万米烛光（离体叶测定），相当于夏天自然光照的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{5}$ 。北京农科院测定，玉米苗期

光饱和点为9.2万米烛光。据测定，在群体中叶面积系数为0.6时就很难测到光饱和点。在玉米生产中，如能提高光饱和点和降低光补偿点，对增强光合、增加光合产物的积累、提高玉米的单位面积产量是极其有利的。

（二）二氧化碳

玉米叶片能够从大气中吸收大量的CO₂，进行旺盛的光合作用。空气中CO₂浓度按体积计算，一般为0.03%（约合0.6毫克/升）左右。在较强的日光和适宜的温度下，玉米和其它植物一样，其光合强度却受到大气中CO₂浓度的限制。一般是在低浓度情况下，光合强度随CO₂浓度的增大而加强，浓度增大到一定限度时，光合强度即不再增大，此时为CO₂的

饱和点。在通风良好，光照充足的条件下，空气中 CO_2 浓度常常限制玉米光合作用的进行，主要原因是 CO_2 进入玉米植株叶片所经历的各部分阻力造成的。

玉米的 CO_2 补偿点很低，中国农科院遗传所刘祚昌等（1977）研究，其补偿在6ppm以下（测定6个材料是3.5~6ppm），一般空气中的 CO_2 浓度，在玉米栽培密度不大时，足够应用。

土壤中微生物分解有机物可放出 CO_2 ，扩散到株丛中，可供叶子吸收，通常含量可达0.5~1.5%。因此，对玉米施以有机肥料，除氮、磷、钾肥外，也可增加 CO_2 。

（三）水

水是影响玉米叶片光合作用的重要因素之一。水分不足，气孔不开，二氧化碳进入困难，光合作用就降低。水分缺乏又妨碍无机盐的运输和有机物的合成，因而间接影响光合作用。

据试验，光合作用最适宜的含水量，应当是略低于其最大饱和水量。缺水时叶片淀粉水解加快，可溶性糖积累，抑制光合作用。在严重缺水时，叶片萎蔫，光合面积缩小，使植物光合作用降低。

玉米叶片的光合作用对水分的反应有两个显著特点。第一是对水分亏缺比较敏感。随着水分亏缺程度的加重，玉米光合强度的降低幅度比向日葵等作物大得多。玉米达到最高光合强度、半光合强度和光合作用停止状态时的临界含水量，均相当高。第二个特点是光合作用中水分利用效率高，即同化作用与蒸腾作用的比率较高。再者，玉米等 C_4 植物的气孔对水分反应比较敏感，在缺水条件下有部分气孔闭合，能

保持较好的水分状况。

保证适时供水，能促使玉米形成较大的叶面积，延长叶片生命时间，增强根系生理活动。在供水良好时，光合作用的日变化有两个高峰，上午10时左右和下午13~14时左右，中午12时前后下降。在炎热天气下，上午10点左右光合作用即开始下降。

总之，适度灌水能增加叶面积，改善生理状态，提高光合生产率，以达到增产之目的。

(四) 土壤pH值

土壤pH值对玉米的许多生理功能都可以产生影响。土壤中过高或过低的pH值，可直接影响玉米的光合强度和光合生产率。表1-2中，pH值为4.0时，光合生产率降低，少则30%，多则70%左右。

表1-2 不同pH时的光合生产率(克/米²/昼夜)

pH	不 同 天 数						
	10	16	19	26	34	53	61
4.0	11.8	8.1	4.6	5.6	8.7	5.8	9.1
7.0	15.5	12.6	10.7	16.1	14.3	8.4	22.8
4.1相当于7.0 的%	76.1	64.3	43.0	36.0	60.8	70.2	39.9

玉米生长适应的pH值范围为5~8，最适宜的pH值是6.5~7.0。如果pH值在5以下则必须进行土壤处理，向土壤使用石灰、有机质肥料来调整pH值。

pH值影响玉米光合作用的重要原因，是抑制叶绿素的合成。pH值4.0较pH6.0的叶片中叶绿素含量下降9.3~16.3%，pH8.0较pH6.0的叶片中叶绿素含量下降11.4~28%。土壤pH值对玉米叶绿体的形态也有一定影响。叶绿素含量降低和叶绿体的形态发生异常变化，都会影响玉米的光合作用。

(五) 温度

玉米适于光合作用的温度，根据村田等(1965)的测定，最适合光合作用的温度为30℃左右(图1-1)。温度过低时光合强度低，合成的干物质少，不利于玉米的生长发育，一般低于20℃时，光合作用急剧下降。温度过高时，叶绿体酶系钝化，光合强度也下降，同时呼吸作用增大，不利于玉米生长。

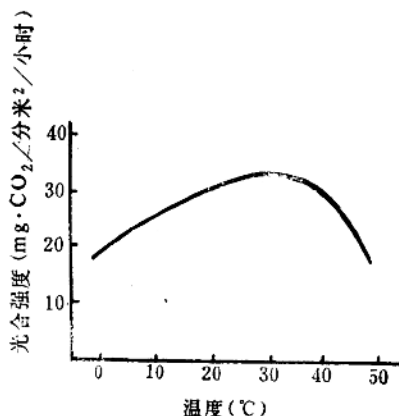


图1-1 温度对玉米光合速度的效应

（六）营养物质

合理施肥能提高光合作用。在氮、磷、钾三要素中，氮对玉米叶片的光合作用有很大的影响。而磷、钾的作用就不如氮那么显著，只有在氮素营养水平高的情况下，磷才有显著作用，在氮、磷水平都高的情况下，钾才能表现出较大的作用。

氮素供应适宜时，光合强度随光强度有显著提高，而在不利的氮素条件下，对光强度的反应不敏感，光饱和点就低。一般说，氮素供应过多过少时，光合强度极不稳定，只有在氮素供应适宜时，光合强度才高而且比较稳定。

磷直接参与了光合作用过程，包括光反应和暗反应，因此叶片含磷量对光合作用有很大影响。磷能促进光合产物的运输转化，是光合作用必不可少的营养物质。

玉米叶片中可代换钾的含量与光合强度密切相关。据测定，单位叶鲜重的含钾量低于2.0毫克以后，光合强度便逐渐降低。钾有提高光合强度的作用，特别在高密度栽培条件下，更为重要。据测定，缺钾对光合效率有较大影响，缺钾的为正常的29%。合理施用钾肥，对提高光合作用，进一步增加玉米产量至关重要。

三、玉米群体的光能利用

玉米的干物质有95以上是通过光合作用形成的。玉米在大田条件下，是由大量植株个体组成的群体。群体的光合系统，是由全部植株个体的叶子总体构成的，形成了自己独特的内部环境。单叶片是组成群体光合系统的基础，但群体

的光合作用比之单叶片更加复杂，与玉米的干物质生产和经济产量有更加直接的联系。深入了解玉米群体光合作用的规律，对提高光能利用率和产量具有重要意义。

（一）玉米的光能利用

一般情况下，照射到植株上的太阳光，被反射、透射、吸收和利用的情况是，叶片的吸收占总辐射的40%，其中93%用于蒸腾作用，2%以热的形式放出，只有约5%的辐射用于光合作用。按实际测定的结果（根据玉米最后的生物产量计算），用于碳水化合物合成的辐射量为总辐射量的1.36~1.86%。

玉米是以群体形式聚居在一起的，所以在研究玉米光能利用率时，总是以土地面积为单位，计算照射到单位面积上的光能中，有多少转化为植物体有机物质中积存的化学能。玉米群体的光能利用率比单株个体光能利用率高得多。这是因为群体叶子的总面积大，植株上层叶子接受到光能，一部分被吸收，一部分被反射到其它层次叶片上，还有一部分光能透射到下层叶子上。中层和下层的叶片除吸收一部分直射光外，还吸收一部分漫射光（从各层叶片反射的光）和透射光。这些叶子的光饱和点并不比上部分叶子低多少，但它们所接受光强则较上层叶片低得多。在强光下，透射光和漫射光的强度同样也比较高，可以提高中、下层叶子的光合作用。由此看来，植物群体的光能利用率较单株个体要优越得多。

在自然条件下，投射到玉米群体中的阳光，一部分被反射掉，一部分透过群体而漏射到地面，其余部分被群体吸收，其中一部分用于光合作用。反射光的多少因群体和生育

期的不同而有差异，一般为入射光的7.2~7.8%。漏光情况同样也因群体和生育期的不同各有所异。苗期漏光最多，以后随生长期的延长而减少。群体大的，生长繁茂的玉米地块，漏光少，密度小，生长较差的地块，漏光多。有人测定，每亩4000株的漏光6%，每亩3000株的漏光11%，每亩2000株的漏光18%。

光能的充分吸收，要有一个良好的群体结构。紧凑型良种的利用为充分利用光能奠定了基础。

（二）群体的光能分布

光能分布是指光通过各层叶片被吸收和反射后，光强度变化的规律。太阳光在群体中各层次的分布，决定着各层叶片所能得到的光能和整个大田的光合生产率。

1. 消光系数

玉米群体内光的分布情况，据山东农科院（1976）试验，玉米在等行距种植条件下，群体内光照分布规律基本上是遵循比尔-佐伯特（Beer-Zambert）定律的（光线通过一个介质时，它的强度是按对数下降的），即群体内总光强度的负对数与叶面积呈正比。因此，玉米群体光分布情况，可用如下方程式计算：

$$\ln \frac{IF}{I_0} = -KF$$

式中IF为群体内某处之水平光照强度， I_0 为群体上面之水平光照强度，K为消光系数，F为光所通过的叶面积系数， $\ln$ 为自然对数的底。

不同群体，不同长相的玉米，其消光系数K值不同。如

果叶片小而且是水平生长，K值为1；如果叶片大，甚至有相互镶嵌现象，K值增大，则光强在光合层中降低快。叶片角度对K值的影响更为复杂。此外，群体密度大，消光系数K值就小，反之，群体密度小，K值则大。低密度时，叶片均匀地伸向四方，高密度时，叶片方向多集中于行间。据试验，每亩2000~2500株时，K值为0.7，则光通过叶面积系数1时，光强减弱50%；每亩3000~4000株时，K值为0.5，则光通过叶面积系数1时，光强减弱40%。K值随密度的变化而有一定的变化，说明玉米群体有一定的自动调节能力。可以认为K值是群体的一个特征，根据K值来计算该品种的合理密度。

2. 群体叶片的光合强度

麦穗和稻穗都位于植株的顶部，对籽粒产量贡献最大的是旗叶及其以下一二叶片。玉米与稻麦不同，其果穗位于植株的中部。果穗叶片的光合强度较高，贡献最大，其它叶片越远越小。在玉米群体中，上、中、下不同部位的叶片，其光合强度及对籽粒产量效应的顺序是中部叶片>上部叶片>下部叶片，但个体玉米的顺序是中部叶片>下部叶片>上部叶片。这说明，果穗以下的叶片本来也是有较高光合能力的，只是在群体中，因植株下部光照不足，而使叶片光合强度降低。一旦在强光下，它们的光合能力还可以充分发挥。因此，在建立合理的玉米群体结构时，应充分强调提高玉米群体内的光合强度。

3. 叶角度与叶向值

叶角度是指叶片与茎秆之间的夹角度数，夹角越小，消

光越小。叶向值是表示叶片挺拔、上冲和在空间下垂程度、截光多少的综合指标。这两项指标是研究玉米群体透光的重要依据。

(1) 叶角度。玉米是高秆作物，株丛较深，在解决透光问题上，以茎叶夹角小的透光率高，可用下式表示：

$$S = A \sin a$$

S为遮荫面积，A为叶面积，a为夹角。当叶呈水平时， a 成 90° ， $\sin 90^\circ = 1$ ，即遮阴面积等于叶面积，遮阴最重。如果叶片挺立，则 $a < 90^\circ$ ， $\sin a < 1$ 。当叶近直立， a 近于零时，则 $\sin a$ 也近于零，遮阴面积达到最小值。根据理论推算，当夹角为 10° ，叶面积系数为8时，光合干物质产量尚未到了；而茎叶夹角成 90° 时（水平向），叶面积达到3左右，干物质产量就不能再增加了。

夹角小，叶片直立的玉米不仅适宜密植，叶面积系数可增加，而且对光能吸收利用也提高。上海植生所和山东农科院的试验表明，太阳光透射到叶片直立的玉米群体中的光量，远比叶片平展的玉米群体多。在中午强光下，叶片直立的玉米群体不仅透光量大，而且还能改善中下部光照条件，使之充分受光，又可以使上部叶片避免光饱和造成的浪费，避免因叶片温度升高造成的光合强度降低，同时又能将上部叶片反射出的阳光折向群体内部而被其它叶片利用。在早晚弱光下，阳光可以较多地供给最旺盛的上部直立叶片吸收利用。国外有人研究叶片排列方式对于阳光的吸收作用，发现直立叶片可以在较大面积上接收光照，比平展叶片截取的光照多44%，并且叶正反两面几乎可以均等地受光。如将平展叶片人工扶为直立型，则其产量比对照高，当叶片近直立时（夹角 19° ），它的光合强度比水平的高1.7倍。