

播种季节对玉米生长发育及干物质生产和分配的影响^{*}张百宝¹, 李树云¹, 胡丽华², 尹树华², 普琼芬³¹ 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650204; ² 蒙自县农技推广中心, 云南 蒙自 661100;³ 蒙自县草坝镇农技站, 云南 蒙自 661101

摘要: 1996-1997年, 在蒙自草坝对春、夏、秋、冬四季玉米的生长发育和干物质生产与分配进行了系统研究。结果表明: 1. 冬玉米生育期最长达171天, 而夏玉米只有101天。2. 春玉米花丝期前生产了较多的干物质, 其它的则是花丝期后生产的干物质更多, 干物质产量与日照时数和LAI的乘积正相关。3. 灌浆期籽粒重点总增重的比例与各季玉米灌浆期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温正相关。4. 春玉米籽粒生产除灌浆期的光合产物外, 动用了前期贮存物的11.1%, 其他玉米完全依赖于灌浆期的光合产物, 并有不同比例光合产物贮存于营养体中。说明春玉米的产量受限于灌浆期的光合产物, 其它玉米则受库容小或运输不畅的限制。

关键词: 亚热带地区; 不同季节播种玉米; 生长发育; 干物质生产与分配

中图分类号: Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-2700(2001)02-0243-08

The Effects of Sowing Season on Growth, Development, Dry Matter Production and Partition of Maize (*Zea mays*)

ZHANG Shi-Bao¹, LI Shu-Yun¹, HU Li-Hua², YIN Shu-Hua², PU Qiong-Fen³¹ Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Kunming 650204, China;² Mengzi County Agricultural Technique Popularization Center, Mengzi 661100, China;³ Caoba Town Agricultural Technique Popularization Station, Caoba 661101, China¹

Abstract: A systematic study on the growth, development, dry matter production and partition of maize sowing in different seasons were made in the town of Caoba of Mengzi in 1996-1997. The results are as follows: 1. The growth duration of winter maize is 171 days, the summer maize growth duration is only 101 days. 2. Spring maize produced more dry matter before silk than after silk, conversely, the in other sowing seasons maize produced more dry matter after silk. There is a direct correlation between the amount of dry matter production and the product of sunshine-hour multiplied by the leaf area index. 3. At grain filling period, there is a direct correlation between $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature and the percentage of grain weight accounting for total increasing weight. 4. Besides the photosynthate produced at grain filling stage, the grain production for spring maize present 11.1% of the store substance produced before silk, but during other sowing seasons maize depend completely upon the carbohydrate produced at filling stage, and a different proportion of carbohydrate remains in the vegetative organs. The results show that the carbohydrate produced at filling is a limiting factor for the yield of spring maize, but for the other sowing seasons maize, the high

* 基金项目: 云南省“九五”科技攻关和中科院—云南省科技合作项目(95A7-2)

收稿日期: 1999-08-19, 1999-11-01 接受发表

yield usually is limited by a small capacity or hindered transportation.

Key words: South subtropical region; Maize sowing in different season; Growth and development; Dry matter production and partition

近年来亩产吨粮技术的发展,已成为粮食增产的一个重要方面。其开发研究主要集中在国内,国外虽有水稻—玉米轮作,但仅将玉米作为粮食的一种补充(Tran-Hang & Quoc, 1988)。在我国南北方有各种形式的吨粮技术(佟屏亚, 1990),春玉米—晚稻和早稻—秋玉米等模式是江苏长江沿岸、湖南、四川和贵州等南方地区采用最多的亩产吨粮模式(赵强基等, 1997; 吴泽军, 1989; 庞良玉等, 1992; 龙云茂, 1993),这些模式大多都选用玉米作为复种作物,主要是由于玉米为C₄作物,能获得高产,另一方面则是因为玉米能在极为广泛的环境条件下生长(Duncan, 1975)。国内外对玉米的生长发育、干物质生产分配、高产技术研究已非常多,但由于各玉米种植区的地理环境差异,大多研究仅只是局限于其正常的播种期内,并通过分期播种试验研究播期对玉米产量的影响,确定了各地最佳的播种期(Cirilo & Andrade, 1994; Genter & Jones, 1971; Duncan等, 1973; 陈国干等, 1986; 聂景芳等, 1984)。Keun Jong等人(1992)曾在夏威夷进行了连续41个月的玉米种植试验,研究了太阳辐射对玉米产量的影响。

本文结合蒙自坝区吨粮技术的开发研究,对春、夏、秋、冬四季播种玉米的生长发育及干物质的生产分配进行系统的比较研究,为优选出适合云南南亚热带气候类型地区的亩产吨粮模式提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验于1996年12月~1997年12月在蒙自草坝进行,草坝属南亚热带气候类型地区,海拔1260m,冬季适宜多种作物生长,土壤较粘重,有机质含量2.36%,肥力较好。

1.2 春、夏、秋、冬四季玉米种植时间分别为97年3月12日、5月30日、8月22日和96年12月4日,其中冬玉米采用腹膜播种。冬播玉米品种为京杂6号,春、夏、秋玉米为云单13号,均为中熟品种。采用起墒开沟点播,墒面宽1.6m,沟宽0.5m,每沟3行,株距0.2m,各种植0.13ha,每公顷最终存留量:冬玉米52500株,春玉米61440株,夏玉米45795株,秋玉米60000株。施肥量均为:N 102kg/ha, P₂O₅ 114kg/ha, K₂O 102kg/ha,冬玉米破膜在间苗后追,其它的为大喇叭口期。

1.3 苗期(冬玉米为破膜引苗后,8~9叶,其它为3叶1心)采样15株,花丝期和成熟期取样5株,分为茎、鞘、叶、雄穗、苞叶、穗轴、籽粒和枯死八部分,在80℃下烘干48h称重,并同时采用系数法测量叶面积(长×宽×0.75),计算10株的平均值。光能利用率按每克干物质含4千卡热量(吴绍睽等, 1980)。气象资料为红河洲气象局蒙自站提供,其中日照、气温为当年数据,辐射量为30年平均值。

2 结果与分析

2.1 环境因子与四季玉米的生育期分析

从图1中看出,蒙自地区一年中日照时数、辐射和气温的高值期分别出现在3~5月。

3~5月和5~8月,而低值期出现在7~10月、11月~翌年2月、12月~翌年2月,春、夏、秋、冬四季播种玉米所处的环境差异很大,春玉米3月12日播种,5月24日开花,7月19日成熟,其花丝期前光照好,气温相对比较高,而后期进入雨季,虽然气温高,但光照条件差。夏玉米5月30日播种,9月7日收获,整个生长发育期均处于高温寡照环境下,秋玉米8月22日播种,12月24日收获,花丝期前温度较高,灌浆期温度偏低,而光照条件整个生育期均不理想,冬玉米12月4日播种,3月31日开花,5月14日收获,花丝期前温度低,而开花后光温条件均占优势。四季玉米所处的环境差异造成生育期的长短不同,出苗至抽雄的天数与出苗后一个月平均气温呈反相关(陈流,1986)。冬玉米由于其营养生长阶段的非伤害性低温造成其生长速度缓慢,全生育期长达171d,夏玉米整个生长期的的高温使其生育期最短,仅有101d,春玉米和秋玉米的生育期则较为相似,为125和126d,生育期的这种差异主要是营养生长期,而灌浆期相差不大,最多相差7d。研究认为从抽雄到成熟的持续时间,温度的影响要小于出苗到抽雄期间(北农大,1982),生育期的长短与温度关系密切,从播种到开花的发育主要受温度的影响,而光合作用强度和“库”的能力之间的关系可能是决定灌浆期长短的一个重要因素(邓肯,1975)。

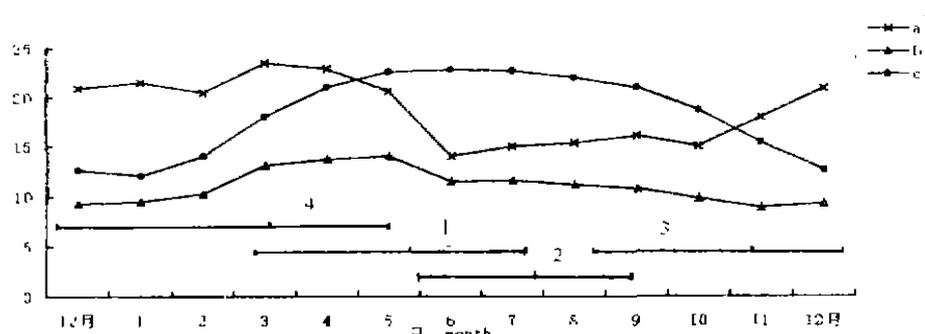


图1 蒙自坝区四季玉米生育期与主要气象因子的年分布关系

a. 日照时数 (10h) b. 辐射量 (kcal/cm^2) c. 气温 ($^{\circ}\text{C}$)

1: 春玉米 2: 夏玉米 3: 秋玉米 4: 冬玉米

Fig.1 Annual distribution of main meteorological factors in Mengzi Plain and its correspondence with the growth duration of corn sowing in different season

a. sunshine duration (10h) b. amount of solar radiation (kcal/cm^2) c. air temperature ($^{\circ}\text{C}$)

1: spring corn 2: summer corn 3: autumn corn 4: winter corn

2.2 叶面积和日照时数与干物质生产

农业生产的实质是作物叶片将太阳能转化为可贮存化学能的过程,叶层吸收太阳能的多寡主要决定于作物群体生长发育中叶片的时空分布,这种时空分布可用日照时数和 LAI 的乘积来表示,不同时间播种的玉米 LAI 的动态变化是不同的(韩湘玲等,1984)。从图 2 中看出,春、夏、秋、冬四季玉米各个时期的干物质生产量与该时期的叶面积和日照时数的积呈显著的正相关 ($R=0.94$),说明良好的光照条件和较大的叶面积指数匹配是玉米获得高产的基础。四季玉米花丝期 $\text{LAI} \times \text{日照时数}$ 与全生育期 $\text{LAI} \times \text{日照时数}$ 之比是:春玉米 0.396、夏玉米 0.635、秋玉米 0.679、冬玉米 0.654,这在一定程度上表明了四季玉米

花丝期前后所处的环境和干物质生产差异。春玉米由于开花前气温较高、光照条件好, 光温 和叶面积的匹配较好, 而后期虽然 LAI 较大, 但日照时数少, 造成春玉米花丝期前生产的 光合产物量最多, 且明显超过后期, 占总干物质质量的 60% 左右, 这一点明显与其它季 节播种的不同。夏玉米由于整个生育期气温高, LAI 上升快, LAI 最大, 后期衰减快, 且 由于其总的日照时数最少, 仅 514.4 h, 它生产的干物质质量远低于冬玉米和春玉米。秋玉 米则是日照时数与叶面积均较低, 生产的干物质质量最少。冬玉米的 LAI 前期较低, 灌浆期 则有稳定的 LAI 和最长日照时数它后期生产的干物质质量是四季玉米中最多的, 且远多于花 丝期前生产的干物质质量。四季玉米叶面积的消长差异主要是由其生育期所处的温度引起 的, 最大 LAI 与出苗后一个月平均温度的高低同步, 而高温促进叶片的衰老。叶面积及其 动态决定了光能的截获, 从而决定干物质的生产, 平均 LAI 虽反映了群体的繁茂程度, 但 叶面积动态比生育期平均 LAI 有更重要的意义, 在北京地区, 春玉米、晚春玉米和套玉米 的叶面积动态表现为宽峰曲线, 夏玉米为窄峰曲线 (陈流, 1986)。在草坝地区, 春玉米 和夏玉米为窄峰曲线, 冬玉米和秋玉米为宽峰曲线。春玉米花丝期前和冬玉米灌浆期均处 于 3~5 月, 它们生产的干物质质量都最多, 这说明充分利用 3~5 月光热资源对促进蒙自坝 区的粮食生产具有重要的作用。

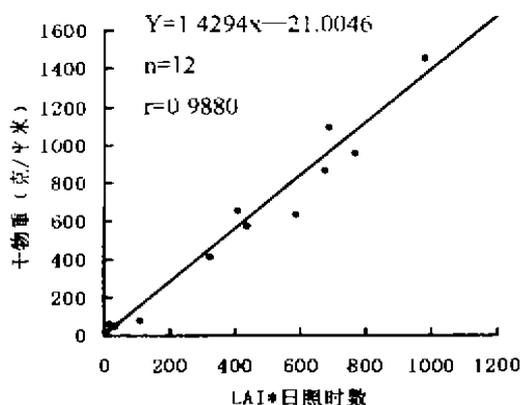


图 2 干物质生产与日照时数和叶面积指数乘积的关系

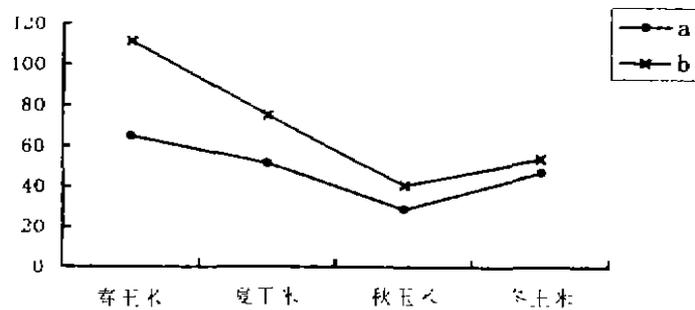
Fig 2 relation between dry matter production and the product of sunshine duration and LAI

2.3 积温与干物质生产的关系

在水肥适当的情况下, 积温是影响玉米产量的主要因子 (聂景芳等, 1984)。通过对 四季玉米花丝前后积温与干物生产量比较发现, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温对玉米干物质的生产的影 响, 在花丝期前后表现为相反的影响。花丝期前积温与该时期的干物质呈正相关 ($R = 0.7033$, 表 1), 而花丝期后两者呈负相关 ($R = -0.9073$, 表 1), 这是因为前期积温高, 出苗速度快, 叶面积增长快, 截获的太阳光多, 并加快了光合作用强度, 生产的光合产物 也就多, 如春玉米。而后期高温促进叶片衰老, LAI 下降快。且使灌浆期缩短, 光合产物 的生产量减少, 如夏玉米。

表1 灌浆期前后 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与各季玉米干物质生产的关系Table 1 Relation between dry matter production of corn in every season and $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature

播种季节 sowing season	发育期 development stage	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 ($^{\circ}\text{C}$) $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature	干物质生产量 (g/m^2) dry matter production amount
春玉米 spring corn	开花前 before silk 开花后 after silk	762.0 650.0	869.3 576.0
夏玉米 summer corn	开花前 before silk 开花后 after silk	746.0 515.0	576.9 455.2
秋玉米 autumn corn	开花前 before silk 开花后 after silk	684.0 484.0	418.2 1092.5
冬玉米 winter corn	开花前 before silk 开花后 after silk	437.0 472.0	372.7 1452.8

图3 灌浆期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温对籽粒重占灌浆期干物质增重的比例的关系1. 籽粒重占灌浆期干物质总增重的% 2. 灌浆期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 (10°C)Fig.3 Relation between $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature and the percentage of grain weight accounting for total increasing dry matter at filling stage1. % of grain weight accounting for total increasing dry matter at filling stage
2. $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature (10°C)

从图3中可发现,各季玉米籽粒干重占总干物重的比例(收获指数)与灌浆期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温呈正相关,积温每增加 10°C ,收获指数提高 0.33% ,说明灌浆期温度的高低对光合产物向籽粒的运输有重要的影响,还有研究表明籽粒灌浆期的日较差是收获系数高低的气象原因(陈流,1986)。籽粒重占灌浆期干物质增重的比例分别为春玉米 94.3% ,夏玉米 75.3% ,秋玉米 40.7% ,冬玉米 58.9% ,收获指数依次为夏玉米(46.2%)、春玉米(44.3%)、冬玉米(41.8%)和秋玉米(29.4%)。两者间有一些差异,这主要还是由于春玉米花丝期前生产的干物质远多于后期有关。

2.4 辐照与干物质生产

从表2中可看出,玉米的干物质生产与各时期的太阳辐照量存在有明显正相关性,这与前人的结果是一致的(Tollenaar & Bruulsema, 1988),太阳辐射每增加100卡,每公顷玉

米产量增加 2.3 吨 (Seung, 1982)。但干物质的增长速率与太阳辐照量之间不存在相关。这是因为作物要有效利用光能, 必须要有一定的叶面积和温度为基础, 通常是从播种到出苗玉米叶面积是很低的, 光能利用率不足 0.05, 春玉米和夏玉米由苗期到花丝期这段时间, 光、热条件都比较有优势, 且有一定 LAI, 干物质积累速度快, 光能利用率达到 1.4% 左右。而播种到开花期, 秋玉米、冬玉米光温不协调, 光能利用不足 1.0%。冬玉米和夏玉米灌浆期光热状况好, 且叶面积大, 光能利用率达到 2.0% 以上, 而春玉米光照条件不理想, 光能利用率只有 1.18%。韩湘玲等人 (1984) 认为光合时间对光能利用率的影响最大。

表 2 四季玉米不同生育期的辐照量与干物质生产关系

Table 2 Relation between radiation and dry matter production in different growth duration

时期		辐照量	干物质	干物质增长速率	光能利用率 (%)
period		Kcal/cm ²	g/m ²	(g/m ² ·d)	light energy use efficiency
		amount	dry matter weight	in creasing rate of dry matter	
春玉米 spring corn	播种期 - 出苗期 sowing - seedling	8.66	6.03	0.32	0.028
	出苗期 - 花丝期 seedling - silking	24.64	863.3	15.99	1.426
	花丝期 - 成熟期 silking - maturation	19.79	576.0	11.08	1.180
夏玉米 summer corn	播种期 - 出苗期 sowing - seedling	6.59	5.2	0.33	0.032
	出苗期 - 花丝期 seedling - silking	15.59	571.7	14.29	1.443
	花丝期 - 成熟期 silking - maturation	15.68	955.2	21.22	2.470
秋玉米 autumn corn	播种期 - 出苗期 sowing - seedling	6.22	6.0	0.35	0.039
	出苗期 - 花丝期 seedling - silking	18.59	412.2	7.23	0.090
	花丝期 - 成熟期 silking - maturation	15.15	1092.5	21.42	2.934
冬玉米 winter corn	播种期 - 破膜 sowing - seedling	23.05	78.7	1.09	0.139
	出苗期 - 花丝期 seedling - silking	18.68	364.0	8.09	0.792
	花丝期 - 成熟期 silking - maturation	20.14	1452.8	29.06	2.942

2.5 四季玉米的干物质分配

表 3 中列出了春、夏、秋、冬四季玉米花丝期和成熟期干物质在各器官中的分布。从花丝期到成熟期春玉米和夏玉米的叶重降低而秋玉米和冬玉米的叶重增加, 说明灌浆期的高温促使春、夏玉米叶片早衰而干重下降, 且枯死部分明显增加。鞘干重则只有春玉米减少, 其它的都增加, 茎和穗轴的干重所有玉米都有所增加, 只不过春玉米增加的比例远较其它的小。从花丝期前后生产的干物质质量来看, 春玉米前期生产的干物质更多, 其它季节播种的玉米则是后期生产的更多, 而且春玉米籽粒生产除灌浆期的光合产物外, 还动用了前期 11.1% 的贮存物, 其它季节播种的玉米则完全依赖于灌浆期的光合产物, 并有不同比例的光合产物贮存在营养体中, 说明春玉米的产量受限于灌浆期的光合产物 (源), 冬玉米受限于库容的大小, 秋玉米则是灌浆期的低温对光合产物的运输不利, 夏玉米的库源关系相对平衡。

表 3 不同季节玉米花丝期和成熟期的干物质分配

Table 3 Dry matter partition for corn sowing in different season at silk and maturation

自产物 Dry	时期 Period	总重 Total weight	籽粒 Grain	茎 Stalk	鞘 Sheath	茎 Stem	绿花 Nude spike	苞 Hulk	油 Oil	其他 Other
春玉米 Spring corn	S	883.5	—	270.0	183.9	267.5	54.7	67.6	34.9	—
△G		1699.1	769.4	166.0	101.5	276.7	26.4	101.5	178.3	52.3
夏玉米 Summer corn	S	576.9	—	201.5	50.4	215.2	32.0	45.8	31.0	—
△G		1532.1	718.9	137.4	57.7	238.1	13.7	100.7	192.3	73.3
秋玉米 Autumn corn	S	418.2	—	114.0	72.0	144.0	36.0	14.4	30.0	7.8
△G		1507.7	443.9	174.0	144.0	267.0	28.8	198.0	204.0	48.0
冬玉米 Winter corn	S	574.7	—	134.6	94.4	170.8	40.7	58.2	30.8	5.2
△G		2054.8	871.6	198.0	121.4	272.8	29.5	269.5	249.9	42.0
△G		257.6	—	13.4	28.6	59.7	-27.5	363.1	71.4	202.7

S——花丝期 H——收获期 S——silking period H—harvest period

3 讨论

3.1 蒙自属于亚热带气候地区, 四季皆可种植, 但其生产力水平差异很大, 依次为冬玉米 > 夏玉米 > 春玉米 > 秋玉米。从分析结果看, 这主要由于其生育期的光温条件差异, 尤其是花丝期后的光温协调性所致。春玉米花丝前光照充足, 积累较多的光合产物, 而花丝期后光照条件差, 形成的碳水化合物少于前期, 最终籽粒产量有 11.1% 来自于前期的光合积累, 说明源限制了春玉米的产量, 因为库在花丝前已经形成。而冬玉米籽粒干物质完全来源于灌浆期的光合产物, 甚至部分碳水化合物还贮存于营养体中, 库则成为冬玉米高产的限制因子。夏玉米的库源关系比较平衡, 秋玉米则是低温对运输的不良影响, 使碳水化合物难于进入籽粒。从吨粮技术开发研究的角度看, 冬玉米能充分利用光热 (尤其 3~5 月) 和土地资源, 且易获得高产, 应为云南亚热带地区吨粮模式中的首选轮作方式。

3.2 有关播期对产量影响的研究较多, 通常早播更易获得高产。陆卫平等 (1997) 提出以提高日照时数强“源”扩“库”安排播期。在我们的实验中, 秋玉米灌浆期所处的光照条件较好, 但是气温偏低, 导致光合产物运输不畅, 也影响了产量, 因此玉米播期安排应因地制宜, 使灌浆期处于光、温配合较好的时期。

3.3 云南以消耗玉米为主的养殖业和饲料加工业还处于比较落后的阶段, 未来发展对玉米的依赖性很大。从四季玉米的生产力比较中看出, 冬玉米的生产力显著高于其它季节播种的玉米, 夏玉米由于生育期高温寡照、降雨量多, 增产希望十分渺茫 (周苏文等, 1998), 因此利用我省亚热带地区冬春的光热资源和大量的冬闲田, 发展冬玉米生产, 无疑对云南的养殖业发展和农业产业化结构调整具有重要的现实意义。

致谢 本文在李存信研究员指导下完成。

[参考文献]

- 邓昌, 1975. 玉米. 伊文后主编 (江苏农科院译), 植物生理学 [M]. 北京: 农业出版社, 30-60
- 北京农业大学, 1982. 农业气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 192-210
- 龙云英, 1993. 玉米-稻两熟吨粮栽培模式综合配套技术 [J]. 耕作与栽培, 4: 20-22
- 吴广年, 1989. 湖南省稻田玉米复种模式研究与推广建设 [J]. 耕作与栽培, 4: 4-8
- 吴绍隆, 韩鹤峰, 石敏之, 1980. 玉米栽培生理 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 234-235
- 佟星亚, 1990. 亩产吨粮技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 1-53
- 陈流, 1986. 北京地区不同类型玉米生产力与光温条件 [J]. 北京农业大学学报, 12 (4): 409-415
- 陈卫平, 叶德铭, 刘志文等, 1986. 夏玉米的高产生育模式及其控制技术 [J]. 中国农业科学, 19 (1): 33-40
- 陆卫平, 陈国斗, 郭景伦等, 1991. 不同生态条件下玉米产量源库关系的研究 [J]. 作物学报, 23 (6): 727-733
- 赵德基, 马健初, 袁从昂等, 1997. 中国南方稻区玉米-稻种植模式的建立和实践 [J]. 江苏农业学报, 13 (4): 215-219
- 周为文, 李木通, 1998. 云南省热区冬玉米生产优势及存在问题与对策 [J]. 云南农业大学学报, 13 (3): 331-333
- 庞自正, 曹彬俊, 孙碧琴等, 1992. 成都平原稻田种植秋玉米配套栽培技术 [J]. 四川农业科技, 4: 6
- 袁军芳, 郝振云, 李健等, 1984. 玉米灌浆过程与光热条件 [J]. 北京农业科技, 5: 11-17
- 韩湘玲, 孔扬凡, 陈流, 1984. 气候与玉米生产力初步分析 [J]. 2: 14-17
- Cunio A G, Andrade F H, 1994. Sowing date and Maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning [J]. Crop Sci, 34: 1039-1043
- Duncan W C, Shaver D L, William W A, 1973. Insolation and temperature effects on growth and yield [J]. Crop Sci, 13: 187-191
- Center C F, Jones G D, 1971. Planting date and growing season effects and interactions on growth and yield of Maize [J]. Agronomy J, 73: 760-761
- Seung Keun Jong, Brewster J F, 1982. Effects of solar radiation on the performance of Maize in 41 successive monthly plantings in Hawaii [J]. Crop Sci, 22: 13-15
- Tran - Hang J Y, Do Huu Quoc, 1988. Intensive technology package for winter maize crop in dry and west soil in Vietnam [C]. Proceeding of the third Asian regional maize workshop, MEXICO CIMMYT, 175-185
- Tollenaar M, Brunsema J W, 1988. Efficiency of Maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion [J]. Agronomy J, 80: 580-585
- Yamaguchi Junichi, 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical Maize, I. Growth patterns as affected by altitude and season [J]. Soil Sci Plant Nutr, 20 (1): 69-73