

种植密度对夏玉米群体库源关系的影响

江东岭,杜 雄,张 宁,边大红,崔彦宏

(河北农业大学 农学院,河北省作物生长调控实验室,河北 保定 071001)

摘要:选用3个不同生育期的夏玉米品种,研究了不同密度处理下的库源变化,及库、源与产量之间的关系,以期揭示在有限的光热资源条件下的源库特征,找出产量的限制因子,为河北省夏玉米高产栽培提供理论依据。结果表明,群体叶源量和源生产能力随密度的增加而增加,但吐丝30 d后高密度(9.0万株/hm²)处理的群体叶源量下降较快。增加种植密度是增源的有效措施,减缓吐丝30 d后叶源衰老速度,增加源生产能力是高密度群体获得高产的基础。随密度的增加,单株结实粒数和粒重降低,但单位面积穗数、粒数及最大潜在库容量增加,高密度(9.0万株/hm²)条件下比其他处理分别高出16.7%~103%,4.7%~87%,8.4%~73%,增加种植密度是获得最大潜在库容量的有效措施。提高单株结实粒数,增加粒重是高密度群体获得高产的保证。库源比随密度的增加逐渐降低,在高密度条件下,源和库均影响产量的形成,但库是限制产量的主要因子。增加种植密度、扩库强源是河北省夏玉米获得高产的重要措施和途径。

关键词:夏玉米;库源关系;密度;产量

中图分类号:S14 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2009)03-0201-07

Effects of Plant Density on Sink-source Relationship of Summer Maize(*Zea mays* L.)

JIANG Dong-ling, DU Xiong, ZHANG Ning, BIAN Da-hong, CUI Yan-hong

(College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Key Laboratory of Crop Growth

Regulation of Hebei Province, Baoding 071001, China)

Abstract: In order to reveal characteristics of source and sink, source-sink relationship, and the effect of source and sink on grain yield, find out the restrictive factors of grain yield, a study was conducted with three hybrids (Jingdan28, Zhengdan958, Nongda108) in four plant density (4.5 ×10⁴ plant/ha, 6.0 ×10⁴ plant/ha, 9.0 ×10⁴ plant/ha) under limited light and heat conditions. The results showed that the population total leaves area and the dry matter production capacity increased with the increase of plant density, but the population total leaves area decreased rapidly from 30th day after silking under high density condition (9.0 ×10⁴ plant/ha). Increasing the plant density was an effective approach to increase the total leaves area and grain yield by decreasing the leaves senescence from 30th days after silking and increasing the dry matter production capacity. The grain numbers per ear and grain weight decreased with the density increased, while the ear numbers, grain numbers per ear and the maximum potential sink capacity per unit area increased and was 16.7% - 103%, 4.7% - 87% and 8.4% - 73% higher of the high density (9.0 ×10⁴ plant/ha) than those of the other treatments respectively. Increasing the plant density was an effective to obtain a larger sink capacity and higher grain yield. The sink-source ratio decreased gradually with the plant density increased. Under high plant density, both source and sink had effect on the formation of grain yield, but sink was the major restrictive factor. Increasing planting density with enlarging sink capacity and strengthening source was the key approach to obtain high grain yield of summer maize in Hebei Province.

Key words: Summer-maize (*Zea mays* L.); Sink-source relationship; Planting density; Grain yield

收稿日期:2009-02-28

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAD02A08)

作者简介:江东岭(1980-),女,河北枣强人,硕士,主要从事玉米高产生理研究。

通讯作者:崔彦宏(1962-),男,河北安平人,博士,教授,主要从事玉米栽培和生理研究。

库源关系是作物生理的理论基础之一,库源与玉米产量形成有着密切的联系^[1,2],但关于库、源及其相互关系对产量的作用和相对重要性的看法仍存在分歧。一部分学者认为光合产物是籽粒产量形成的物质基础,增源是提高产量的主要途径^[3-7];一部分学者认为库影响干物质生产,决定干物质分配,还控制籽粒灌浆速度,因此库对产量影响非常大,主张扩大库容提高产量^[8-12];也有学者认为单方面强调产量的限制因素是源或是库都是不全面的,要获得高产,不仅源库要协调,还要考虑到运转的协调^[13-16];还有学者因生态条件、品种类型、研究方法而异,对源库在产量形成中的作用认识也不尽相同^[7,11,17-20]。河北省是我国重要的夏玉米产区,近些年夏玉米种植面积稳定在 273~280 万 hm^2 ,占全国夏玉米总面积的 10% 左右,但与同区域的河南、山东相比存在光热资源明显不足的自然生态条件劣势,导致单位面积产量偏低。因此本试验选用 3 种不同生育期的玉米品种作为试验材料,研究 4 种不同密度处理的夏玉米群体库源的变化特征,旨在探讨群体库源关系,为河北省夏玉米产量进一步突破提供理论和技术依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2007 年在河北农业大学辛集试验站进行,其位于河北省平原区中部,年平均气温 13.4~15.0,降水量 488 mm,无霜期 190 d,试验站生态条件代表了河北省中南部平原区。

试验地为壤土,前茬为冬小麦,0~20 cm 土层有机质 11.62 g/kg,全氮 1.08 g/kg,速效氮 75.8 mg/kg,速效磷 41.9 mg/kg,速效钾 94.6 mg/kg。

试验采用裂区设计,密度为主区,设 4 个水平:9.0 万株/ hm^2 、7.5 万株/ hm^2 、6.0 万株/ hm^2 、4.5 万株/ hm^2 ;品种为副区:京单 28(生育期 90 d)、郑单 958(生育期 98 d)、农大 108(生育期 108 d),共 12 个处理,设 3 次重复。每小区面积 100 m^2 ,行距为 60 cm,每小区间留 80 cm 宽的观察道。全生育期施尿素 925 kg/hm^2 ,30% 的做种肥,50% 在大喇叭口期追施,20% 在吐丝期追施,施 KCl 375 kg/hm^2 和 ZnSO_4 15 kg/hm^2 全部用作种肥施用。3 个品种于 6 月 18 日播种,并浇蒙头水,以后无灌溉,10 月 1 日收获。

1.2 测定项目与方法

每小区标记有代表性的植株。分别于三叶期、

拔节期、大喇叭口期、吐丝期、吐丝后 15 d、吐丝后 30 d 和成熟期取样,其中三叶取 30 株,以后各时期取 10 株。

单叶面积 = 叶长 \times 叶宽 $\times 0.75$;

叶源量:即叶面积,将单叶面积依次相加,计算出单位面积群体叶源量;

源生产能力:即干物质积累量,将植株按茎、叶、鞘、雄穗、苞叶、穗轴、籽粒器官分样,105 杀青 30 min,80 烘干至恒重后称量,相加计算源生产能力;

最大潜在库容量 = 单位面积穗数 \times 潜在粒数 \times 潜在粒重;

有效库容量 = 单位面积总粒数 \times 粒重;

产量:每小区实收称量果穗鲜质量,随后随机选取 10 穗,烘干测定含水率,按 14% 含水率折算单位面积经济产量(有效库容量);

经济系数 = 经济产量(烘干质量)/生物产量(烘干质量);

粒叶比 = 群体收获总粒数/群体最大叶面积;

吐丝后源生产能力转化率 = 烘干籽粒质量/吐丝后源生产能力 $\times 100\%$;

茎鞘物质输出率 = (吐丝期茎鞘干质量 - 成熟时茎鞘干物质质量)/吐丝期茎鞘干物质质量 $\times 100\%$;

1.3 数据分析

分别采用 Spss12.0 和 Microsoft Excel 2003 对数据进行统计和作图。

2 结果与分析

2.1 密度对玉米源特性的影响

2.1.1 密度对玉米群体叶源量的影响 不同密度下的各玉米品种叶源量见图 1。不同品种的群体叶源量随密度增加而增加。从三叶到吐丝,群体叶源量高密度比低密度增长速度快,在吐丝期达到最大,且不同处理间差异显著,高密度(9.0 万株/ hm^2)处理比其他处理高 10.3%~90.0%。吐丝后高密度群体叶源量下降的速度较快,但在吐丝 - 吐丝后 30 d 高密度处理依然维持着较高的叶源量,高的叶源量在玉米灌浆关键时期为“库”提供充足的光合产物奠定了物质基础。吐丝后 30 d 到收获,高密度下的叶源量已不具优势。因此在高密度条件下,防止吐丝后 30 d 叶片衰老和死亡,延长叶片光合时间,对于提高源生产能力和产量具有重要意义。各品种比较表明,全生育期各阶段农大 108 叶源量最大,京单 28 叶源量最小,且两者间的差异显著。

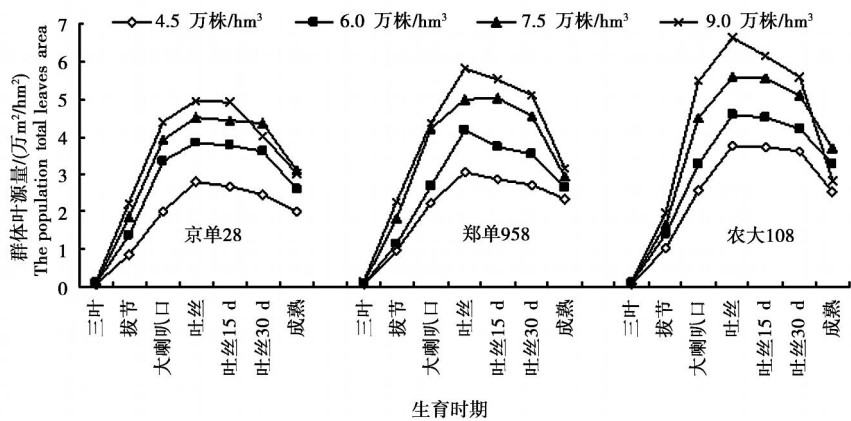


图1 不同密度下各玉米品种的叶源量

Fig.1 Total leaves area of maize hybrids under different densities

2.1.2 密度对玉米群体源生产能力的影响 不同密度下玉米的群体源生产能力见表1。各阶段源生产能力随密度增加逐渐增加,且高密度与低密度相比存在显著差异,高密度(9.0 万株/hm²)全生育期源生产能力比其他处理高出3.6%~57.8%,全生育期源生产能力从6.0 万株/hm²到7.5 万株/hm²增加的幅度最大,在20%左右。京单28和郑单958各阶段源生产能力在7.5 万株/hm²和9.0 万株/hm²,相比差异不显著。在高密度条件下,农大108吐丝后源生产能力占全生育期源生产能力的百分比,高密度处理与低密度处理相比存在显著差异。可见,增加种植密度是提高玉米全生育期群体源生产能力的重要栽培措施,尤其是提高吐丝后源生产能力的关键措施。不同品种的全生育期群体源生产能力比较表明,在高密度条件下农大108全生育期群体源生产能力显著高于京单28和郑单958,但京单28和郑单958吐丝后源生产能力所占比重大的特性为其增产创造了条件。

表1 不同密度下玉米的群体源生产能力

Tab.1 Dry matter production capacity of maize hybrids under different densities

品种 Hybrids	种植密度 /(万株/hm) Planting density	全生育期源生产能力 /(t/hm ²) Dry matter production capacity in the whole growth period	吐丝前源生产能力 /(t/hm ²) Dry matter production capacity before silking	吐丝后源生产能力 /(t/hm ²) Dry matter production capacity after silking	吐丝后源生产能力/全生育期源生产能力/% Dry matter production capacity after silking/Dry matter production capacity in the whole growth period
京单28 Jingdan28	4.5	14.90 ±0.34 c	6.23 ±0.64 b	8.67 ±0.30 b	58.20 ±0.76 a
	6.0	16.69 ±0.73 b	7.31 ±0.27 b	9.38 ±0.46 b	56.19 ±0.31 a
	7.5	19.59 ±0.07 a	8.50 ±0.28 a	11.09 ±0.37 a	56.63 ±1.56 a
	9.0	20.33 ±0.11 a	9.00 ±0.08 a	11.33 ±0.03 a	55.72 ±0.14 a
郑单958 Zhengdan958	4.5	15.14 ±0.02 b	6.28 ±0.40 b	8.86 ±0.02 b	58.51 ±0.22 a
	6.0	16.68 ±0.63 b	7.40 ±0.28 b	9.27 ±0.34 b	55.60 ±0.04 a
	7.5	20.92 ±0.87 a	8.97 ±0.59 a	11.95 ±1.46 a	57.12 ±4.63 a
	9.0	21.91 ±0.23 a	9.12 ±0.47 a	12.79 ±0.25 a	58.39 ±0.53 a
农大108 Nongda108	4.5	14.69 ±0.16 d	7.12 ±0.13 d	7.57 ±0.02 d	51.51 ±0.37 a
	6.0	16.93 ±0.07 c	8.53 ±0.01 c	8.39 ±0.07 c	49.58 ±0.65 b
	7.5	20.63 ±0.13 b	10.56 ±0.03 b	10.07 ±0.10 b	48.82 ±0.18 b
	9.0	23.19 ±0.18 a	12.30 ±0.14 a	10.89 ±0.04 a	46.904 ±0.55 c

注:表中同一列中不同的字母表示在0.05水平上差异显著。
Note: Values followed by a different letter in table 1 are significant different at $P < 0.05$.

2.2 密度对玉米库特性的影响

2.2.1 密度对玉米单株库特性的影响 不同品种玉米单株结实粒数、结实率和穗粒重均随密度的增加而降低,不同密度处理间单株结实粒数和穗粒重存在显著差异(表2)。低密度群体的穗粒重显著高于高密度群体。相同密度下郑单958和农大108结实粒数较多,京单28的结实粒数少。京单28和郑

单958穗粒重相对较重,农大108穗粒重较轻。各品种单株总小花数和吐丝花数不同密度下的差异不显著,而相同密度条件下不同品种间的差异显著,其中农大108总小花数和吐丝花数最多,京单28总小花数和吐丝花数最少,这说明单株的总小花数和吐丝花数受密度影响不大,主要受品种基因型控制。而密度对结实粒数和穗粒重影响较大,因此在高密

度栽培条件下,提高单株的结实粒数、结实率和穗粒重是获得高产的关键。

表 2 不同密度下玉米的单株库构成因素

Tab.2 Composing factors of single plant sink under different densities						
品种 Hybrids	种植密度 / (万株/ hm ²) Planting density	总小花数/ 个 Total number of floret	吐丝花数/ 条 Number of silking floret	结实粒数/ 个 Bearing number	穗粒重/ g Ear grain weight	结实率/ % Seed setting rate
京单 28 Jingdan28	4.5	531 ±27.19 a	518 ±15.17a	480 ±11.31a	201.73 ±0.52 a	90.3 ±4.11 a
	6.0	526 ±73.97 a	497 ±42.08 a	453 ±4.24 ab	182.37 ±9.51 b	86.1 ±1.63 a
	7.5	560 ±36.15 a	552 ±37.25 a	442 ±0.71 b	161.63 ±8.80 c	78.8 ±4.00 b
	9.0	546 ±8.54 a	532 ±30.73 a	385 ±15.57 c	126.26 ±4.14 d	72.5 ±1.65 c
郑单 958 Zhengdan958	4.5	798 ±78.86 a	736 ±67.99 a	627 ±3.54 a	223.23 ±1.56 a	78.2 ±1.92 a
	6.0	756 ±68.66 a	643 ±36.37 a	528 ±2.12 b	165.30 ±9.13 b	69.8 ±3.47 b
	7.5	776 ±61.76 a	608 ±52.07 a	513 ±7.07 b	153.06 ±8.38 bc	66.1 ±2.97 b
	9.0	747 ±27.35 a	735 ±26.56 a	463 ±2.12 c	135.11 ±6.55 c	62.1 ±2.17 c
农大 108 Nongda108	4.5	864 ±55.27 a	717 ±30.97 a	623 ±4.24 a	182.06 ±1.57 a	72.1 ±1.91 a
	6.0	869 ±9.24 a	755 ±47.35 a	580 ±18.38 b	165.10 ±6.43 b	68.2 ±1.68 b
	7.5	832 ±22.72 a	707 ±19.24 a	547 ±3.54 c	151.63 ±5.18 c	65.7 ±2.25 b
	9.0	840 ±46.68 a	708 ±11.12 a	460 ±2.83 d	116.50 ±2.62 c	54.8 ±2.96 c

注:表中同一列中不同的字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Note:Values followed by a different letter significant different at P<0.05.

2.2.2 密度对玉米群体库特性的影响 不同密度下各品种玉米群体库的指标见表 3,不同的玉米品种果穗数、总粒数均随密度增加而增加,高密度(9.0 万株/ hm²)群体单位面积穗数和粒数比其他处理高出 16.7 %~103 %和 4.7 %~87 %,千粒重随密度增加而降低,高密度处理与低密度处理之间存在着显著差异,但由于提高种植密度所导致的玉米单位面积穗数增加幅度远大于千粒重下降幅度,最终使得最大潜在库容量随密度的增加而显著增加,高密度(9.0 万株/ hm²)群体最大潜在库容量比其他处理高 8.4 %~73 %。可见在当前生态和管理条件下,合理增加玉米种植密度是提高最大潜在库容量的重要措施。有

效库容量随密度的增加而增加,当达到一定值后随密度的增加而下降。有效库容量高密度与低密度间的差异显著,这表明了有效库容量提高与增加密度存在相关性,但随着密度的增加有效库容量占最大潜在库容量的比例变小,在密植条件下,进一步提高有效库容量是获得高产的有效措施。不同品种间的比较表明,京单 28 千粒重明显的高于其他两个品种,农大 108 的千粒重最低。3 个玉米品种的有效库容量均在高密度或中高密度下最高,除郑单 958 外,其他两个品种的有效库容量高密度与中高密度间的差异不显著。

表 3 不同密度下各品种玉米群体库的指标

Tab.3 Population sink index of maize hybrids under different densities						
品种 Hybrids	种植密度/ (万株/ hm ²) Planting density	果穗数/ (个/ hm ²) Ear number	总粒数 / (万粒/ hm ²) Total grain number	千粒重/ g 1000-grain weight	最大潜在库容量 / (kg/ hm ²) Potential sink storage capacity	有效库容量 / (kg/ hm ²) Effective sink storage capacity
京单 28 Jingdan28	4.5	48 541 ±464 d	2 136 ±32.21 d	426.58 ±1.22 a	11 002 ±133.13 d	9 454 ±267.87 c
	6.0	64 680 ±298 c	2 717 ±86.13 c	365.88 ±2.12 b	12 448 ±315.14 c	10 260 ±123.07 b
	7.5	81 633 ±665 b	3 600 ±228.57 b	361.24 ±0.71 c	16 514 ±825.69 b	11 041 ±371.88 a
	9.0	95 238 ±163 a	3 771 ±57.15 a	349.28 ±2.12 d	18 163 ±199.59 a	11 305 ±295.63 a
郑单 958 Zhengdan958	4.5	48 197 ±126 d	3 008 ±97.04 d	322.15 ±0.26 a	12 390 ±312.60 d	8 670 ±111.75 c
	6.0	66 172 ±400 c	3 494 ±250.17 c	311.11 ±0.16 b	15 564 ±778.32 c	9 169 ±469.81c
	7.5	81 323 ±216 b	4 172 ±225.37 b	309.49 ±2.30 b	19 531 ±697.51 b	12 488 ±252.68 a
	9.0	95 857 ±180 a	4 448 ±210.30 a	295.59 ±3.32 c	21 166 ±621.63 a	10 968 ±173.19 b
农大 108 Nongda108	4.5	48 312 ±232 d	3 024 ±105.30 d	308.87 ±0.64 a	12 893 ±436.68 d	8 549 ±189.21 c
	6.0	66 790 ±125 c	3 961 ±61.70 c	281.87 ±0.71 b	16 366 ±173.91 c	9 517 ±80.70 b
	7.5	81 872 ±182 b	5 142 ±94.54 b	274.36 ±1.41 c	18 689 ±259.37 b	10 999 ±315.97 a
	9.0	94 021 ±148 a	5 646 ±187.01 a	270.79 ±1.41 d	22 297 ±506.42 a	10 582 ±240.42 a

注:表中同一列中不同的字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Note:Values followed by a different letter significant different at P<0.05.

2.3 密度对玉米群体库源关系的影响

茎鞘物质输出率是反应作物源库关系协调程度的重要指标之一,茎鞘物质输出率越高说明源器官形成的营养物质向库转移的比例越大。吐丝后源生产能力的转化率反应了吐丝后物质运转是否流畅,对产量的形成有重要作用。由表 4 可看出,各品种茎鞘物质输出率随密度增加而下降,这表明种植密度越高,群体的库容量不足而源的供应能力较强,库是限制产量的关键因素。因此在高密度条件下,应该有效提高库容量承接更多的源物质。各品种转化率均是高密度群体比低密度群体低,这表明高密度群体吐丝后光合产物向籽粒运输的速度慢,运输不流畅,表明在高密度条件下,库是限制产量的关键因素。粒叶比反映库与源在数量上的比例,亦即单位

面积绿叶所承载的籽粒数,是一个重要的源库关系指标。经济系数是经济产量和生物产量相互制约的结果,是反映库源比的重要生理指标。粒叶比和经济系数随密度的增加而降低,同样说明了密度的提高导致了群体库容的相对不足。产量比较表明,郑单 958 产量最高,京单 28 次之,农大 108 产量最低;由密度和产量可以看出,京单 28 的耐密性较郑单 958 和农大 108 好。品种间比较表明,农大 108 粒叶比最大,京单 28 的最小;京单 28 经济系数高,农大 108 经济系数低;京单 28 和农大 108 转化率比郑单 958 高;茎鞘物质输出率京单 28 和郑单 958 比农大 108 高。可见高密度群体条件下,库是限制产量的主要因素。

表 4 玉米品种不同密度处理的源库关系

Tab.4 Sink-source relationship of maize hybrids under different densities						
品种 Hybrids	种植密度 / (万株/ hm ²) Plant density	产量 / (kg/ hm ²) Yield	茎鞘物质 输出率/ % Export percentage of stem and sheath matter	吐丝后源生产能 力的转化率/ % Conversion rate of leaf source productive capacity after silking	粒叶比 Grain-leaf ratio	经济系数 Economic coefficient
京单 28 Jingdan28	4.5	8 130. 61	17. 73	93. 78	899. 80	0. 55
	6. 0	8 823. 87	17. 63	94. 10	836. 12	0. 53
	7. 5	9 495. 10	16. 69	85. 59	818. 46	0. 48
	9. 0	9 721. 90	8. 49	85. 83	806. 84	0. 48
郑单 958 Zhengdan958	4. 5	7 455. 89	15. 94	84. 18	988. 81	0. 49
	6. 0	7 885. 36	12. 50	85. 04	884. 68	0. 47
	7. 5	10 740. 05	12. 03	89. 87	866. 39	0. 51
	9. 0	9 432. 62	11. 44	73. 74	782. 99	0. 43
农大 108 Nongda108	4. 5	7 352. 47	9. 17	97. 15	981. 04	0. 50
	6. 0	8 185. 04	9. 14	97. 55	957. 09	0. 48
	7. 5	9 459. 38	8. 71	93. 91	917. 15	0. 46
	9. 0	9 100. 26	7. 00	83. 60	874. 63	0. 39

表 5 源库各特征因素间的相关系数

Tab.5 Correlation coefficient between the components of sink and source							
		种植密度 Plant density	有效库容量 Effective sink storage capacity	千粒重 1000-grain weight	总穗数 Total ears number	穗粒数 Grain number per ear	穗粒重 Grain weight per ear
叶源量 Leaf source amount	吐丝前	0. 969 **	0. 798 **	- 0. 468	0. 966 **	- 0. 575	- 0. 916 **
	吐丝后	0. 860 **	0. 671 *	- 0. 699 *	0. 872 **	- 0. 298	- 0. 877 **
	全生育期	0. 918 **	0. 712 **	- 0. 638 *	0. 923 **	- 0. 404	- 0. 917 **
源生产能力 Productive capacity of leaf source	吐丝前	0. 821 **	0. 590 *	- 0. 637 *	0. 818 **	- 0. 336	- 0. 862 **
	吐丝后	0. 959 **	0. 812 **	- 0. 467	0. 957 **	- 0. 554	- 0. 886 **
	全生育期	0. 876 **	0. 859 **	- 0. 164	0. 876 **	- 0. 658 *	- 0. 695 *
产量构成因素 Yield components	最大潜在库容量	0. 912 **	0. 693 *	-	0. 915 **	- 0. 364	-
	有效库容量	0. 787 **	-	-	0. 800 **	- 0. 621 *	-
	穗粒重	- 0. 929 **	-	0. 472	0. 472	0. 571	-
	粒叶比	- 0. 744 **	- 0. 701 *	- 0. 223	- 0. 744 **	0. 918 **	0. 612 *

注：* 表示在 0.05 水平下相关性；** 在 0.01 水平下相关性,n=12。
Note：* Correlation is significant at the 0.05 level；** Correlation is significant at the 0.01 level.

2.4 夏玉米源与库的相关性

表 5 表明,在不同种植密度条件下,源与产量、总穗数之间存在着显著或极显著正相关关系,其中

吐丝后源生产能力和全生育期源生产能力与产量的相关系数最大。千粒重、穗粒数、穗粒重与源之间存在着负相关关系,其中穗粒重与源之间达到了显著

或极显著负相关。产量与库构成因素之间的相关系数表明总穗数、穗粒重、库容量及穗粒数对产量影响较明显,尤其是总穗数最明显。粒叶比与产量、千粒重、总穗数之间呈负相关关系,但与穗粒数和穗粒重之间存在显著或极显著正相关关系。可见源、库容量、穗粒重、总穗数对产量影响较大。在高密度条件下,增加叶源的同时,防止吐丝后叶源早衰,提高全生育期源生产能力是获得高产的基础;增加库容量、穗粒数,提高穗粒重是高密度下获得高产的关键。

3 结论与讨论

自 1928 年 Mason 提出“源库学说”后,在作物栽培研究中,特别是在超高产栽培理论研究中,常以源库协调性的好坏来评价产量的高低^[21]。在玉米高产栽培中,增加种植密度,建立合理的群体结构是获得高产的关键措施,而叶源量和源生产能力是高产的重要指标。本试验结果表明,玉米群体叶源量随密度的增加而增加,在吐丝期达到最大,吐丝 30 d 后高密度群体叶源量下降的速度较快,对产量的形成极为不利,因此在高密度条件下,应通过有效栽培措施,减缓叶片早衰和死亡,延长叶片光合时间,保证充足的源供应能力。全生育期群体源生产能力及吐丝后源生产能力随密度的增加而增加,这与薛吉全^[7]、李凤海^[22]等的研究结果基本一致。群体叶源量和源生产能力与密度和产量之间的相关系数表明增加种植密度能有效增加叶源量及源生产能力,较高的叶源量和源生产能力为产量的提高奠定了充足的物质基础。可见增加种植密度是获得较高“源”的关键措施。

作物群体存在自动调节能力,这种能力是通过个体的生长发育实现的^[23]。本研究表明,单位面积穗数、粒数、最大潜在库容量随密度增加而增加。单株结实粒数、千粒重随密度的增加而降低。有效库容量随密度的增加而增加,达到一定密度后产量不再增加,而是随密度的增加而降低。穗粒重与密度的相关系数表明密度增加使单株穗粒重下降,有效库容量与密度及最大潜在库容量的相关系数表明增加种植密度是增加库容的有效措施,这说明增加种植密度能有效弥补因穗粒重降低带来的损失,是获得较大“库容”的关键措施。

产量是在特定的栽培措施下,源库相互作用、相互制约的结果^[24]。库源比是反映作物生长的重要生理指标。薛吉全^[4,25]、黄智鸿^[20]、屠乃美^[26,27]、吕丽华^[28]等的研究认为维持一定库源比是高产的必要条件,低密度条件下库是限制产量的主要因素,高

密度条件下源是产量的主要限制因素。陆卫平等^[9]认为库是限制产量的关键因素。凌碧莹等^[29]对春玉米的研究结果表明,扩库限源增效是春玉米高产和超高产的有效途径。李明^[30]等对寒地高产玉米源库关系研究结果表明,在库或源水平较低的情况下,增源或增库均能明显提高产量,随着库或源水平逐渐提高,增源或增库的增产效果逐渐降低;当库或源水平较高时,提高源或库均导致产量的降低。本研究表明,库源比随密度的增加而降低。在低密度条件下,由于吐丝后叶源下降的速度慢,增库比增源对产量影响大;随密度的增加,源库均有不同程度的增加,但源的增加幅度比库的增加幅度大,这表明在低密度条件下,源和库均是产量的限制因素,但库的影响较大。在高密度条件下,生长后期植株间争夺光和养分加剧,叶源迅速下降,败育小花数增多,穗粒数和粒重降低。因此防止生长后期植株间的郁闭,增加单株结实粒数和粒重,是低密度条件下获得高产的关键^[31,32]。京单 28 产量随密度的增加而增加,在高密度条件下获得了较高的产量,郑单 958 和农大 108 产量均在 7.5 万株/hm² 最高,这表明京单 28 的耐密性比郑单 958 和农大 108 强,京单 28 和郑单 958 的产量均比农大 108 高,因此选择耐密性强的品种具有较大增产潜力。

综上所述,在高密度条件下,单方面的增源或扩库均不能大幅度提高产量,只有源库兼顾才能获得高产。在河北省有限的光热资源条件下,选择耐密性强的品种,增加种植密度,并采取有效栽培措施,控制吐丝后叶片的衰老速度,提高单株结实粒数,增加穗粒重是获得高产的关键。

参考文献:

- [1] 杨建昌,王志琴,朱庆森. 水稻产量源库关系的研究[J]. 江苏农学院学报,1993,14(3):47-53.
- [2] 刘晓冰,张秋英. 试论作物的源库系统[J]. 农业系统科学与综合研究,1992,8(2):131-134.
- [3] 赵久然. 不同时期遮光对玉米籽粒生产能力的影响及生长的效果[J]. 中国农业科学,1990,23(4):28-35.
- [4] 薛吉全. 不同株型玉米物质生产和群体库源特征的研究[J]. 西北植物学报,1995,15(3):234-239.
- [5] 王庆成,牛玉贞,王忠孝,等. 源-库比改变对玉米群体光合和其他性状的影响[J]. 华北农学报,1997,12(1):1-6.
- [6] Andrade F H, Uhart S A. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects[J]. Crop Sci,1993,33(3):482-485.
- [7] 薛吉全,马国胜,路海东,等. 密度对不同类型玉米源库关系及产量的调控[J]. 西北植物学报,2001,21(6):

- 1162 - 1168.
- [8] 徐庆章. 玉米增库促源高产栽培理论的初步研究[C]// 黄淮海玉米高产论文集. 杨陵: 天则出版社, 1990: 147 - 156.
- [9] 陆卫平. 不同生态条件下玉米产量源库关系的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(6): 725 - 733.
- [10] 陆卫平, 卢家栋. 玉米灌浆结实期产量源库关系的研究[J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(4): 23 - 26.
- [11] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source - sink ratios [J]. Crop Sci, 1995, 35(1): 183 - 190.
- [12] 王 婷, 饶春富. 减源缩库与玉米产量关系的影响[J]. 玉米科学, 2000, 8(2): 67 - 69.
- [13] 陈国平, 郭景伦, 王忠孝, 等. 玉米库源关系的研究[J]. 玉米科学, 1998, 6(4): 36 - 38.
- [14] 李 明, 李文雄. 玉米产量形成与源库关系[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 67 - 70.
- [15] 杨守仁. 水稻源与库的辩证关系[M]. 北京: 农业出版社, 1980, 176 - 185.
- [16] 张俊国. 不同栽培条件下水稻品种源库关系的变化[J]. 吉林农业科学, 1991(2): 8 - 14.
- [17] 山东省农业科学院玉米研究所. 玉米生理[M]. 北京: 农业出版社, 1987: 270 - 289.
- [18] 曹靖生. 玉米不同株型结构源库关系研究[A]. 北京: 全国首届青年农学学术年会论文集[C]. 北京: 中国科技出版社, 1992: 173 - 178.
- [19] 徐庆章. 玉米增库保源及增穗保叶高产栽培理论与实践[J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 27 - 29.
- [20] 黄智鸿, 申 林, 曹 洋, 等. 超高产玉米与普通玉米源库关系的比较研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(6): 607 - 611.
- [21] 梁引库, 王美妮, 李新生, 等. 玉米源、库、流研究进展[J]. 陕西农业科学, 2006(6): 107 - 110.
- [22] 李凤海, 周 芳, 王志斌. 不同玉米品种最佳密度研究[J]. 种子, 2007, 26(2): 77 - 80.
- [23] 殷宏章, 雷宏淑, 王天铎. 稻麦群体研究论文集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1961.
- [24] 王忠孝. 山东玉米[M]. 中国农业出版社, 1999.
- [25] 薛吉全. 紧凑型玉米不同群体库源关系的研究[J]. 陕西农业科学, 1992(增刊): 1 - 2.
- [26] 屠乃美, 邹应斌, 周文新, 等. 不同类型品种源库互作特性的比较研究[M]// 邹应斌. 双季稻超高产栽培技术体系研究与应用. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999: 79 - 87.
- [27] 屠乃美, 官春云. 水稻幼穗分化期减源对源库关系的影响[J]. 湖南农业大学学报, 1999, 25(6): 430 - 436.
- [28] 吕丽华. 夏玉米高产冠层结构特点及产量形成动态研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [29] 凌碧莹. 春玉米超高产群体源库关系研究[J]. 华北农学报, 2000, 15(1): 71 - 77.
- [30] 李 明, 杨克军, 刘 钢, 等. 寒地高产玉米源库性状及与产量的关系[J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 99 - 103, 106.
- [31] 王占贤, 杜永春, 李金在. 鄂尔多斯市沿河灌区不同类型玉米品种栽培密度的初步研究[J]. 内蒙古农业科技, 2007(2): 42 - 43.
- [32] 侯旭光, 冯 勇. 玉米种植密度若干问题的分析[J]. 内蒙古农业科技, 1992(6): 22 - 23.