

一穴多株种植对夏玉米子粒灌浆和产量的影响

王云奇, 张英华, 宋文品, 李金鹏, 邓万云, 王志敏

(中国农业大学农学与生物技术学院/作物生态生理实验室, 北京 100193)

摘要: 在密度为 82 500 株/hm², 通过一穴多株种植方式调整株距, 设一穴一株(对照, P1)、一穴二株(P2)、一穴三株(P3) 3 个处理, 对比分析不同处理下夏玉米的光合速率、花后叶片特性、子粒灌浆速率和穗部性状, 对粒重和产量进行评价, 验证在高密种植条件下调整株距能否改善夏玉米子粒灌浆和产量。研究表明, 通过一穴多株种植方式适当扩大株距可以提高夏玉米的光合速率, 改善穗部性状, 延缓夏玉米花后叶面积指数和 SPAD 值下降以及叶片衰老, 夏玉米子粒体积、粒重和灌浆速率得到显著改善。与对照 P1 相比, P2、P3 处理的产量分别提高 5.8%、4.9%。在高密种植情况下, 通过一穴二株来调整株距可以延缓花后叶片衰老, 从而保证子粒灌浆足够的光合面积, 最终实现粒重的增加和产量的显著提高。

关键词: 夏玉米; 叶面积指数; 子粒体积; 粒重; 光合速率

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Grain Filling and Yield of Summer Maize under Planting Pattern of More Plants per Hill

WANG Yun-qi, ZHANG Ying-hua, LI Jin-peng, SONG Wen-pin, DENG Wan-yun, WANG Zhi-min

(Crop Ecophysiology Laboratory, College of Agriculture and Biotechnology,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The planting distance was adjusted by planting pattern of more plants per hill. There were three treatments[CK, one plant per hill(P1)], two plants per hill(P2), three plants per hill(P3) under the density of 82 500 plants/ha. The leaf traits after flowering, grain filling, ear traits, and grain weight and grain yield of three treatments were observed and measured. It was to improve the photosynthesis efficiency and ear traits by the right enhance of planting distance with more plants per hill. There was decrease in leaf area index reduction, leaf senility, and SPAD value decrement during grain filling stage with planting patterns of more plants per hill. In this research, it was recorded that grain weight, grain volume and grain filling were enhanced a lot by planting patterns of more plants per hill. The grain yield of P2 and P3 was increased by 5.8%, 4.9%, respectively, compared with P1. Consequently, it was a good process to achieve high yield, due to delay aging of leaf for enough leaf area to grain filling by two plants per hill.

Key words: Summer maize; Leaf area index; Grain volume; Grain weight; Photosynthetic efficiency

随着人口的增长和气候变化的加剧, 全球粮食供给不断受到挑战^[1]。玉米产量超过全国谷物总产量的三分之一^[2], 因此, 玉米高产研究成为热点^[3]。

前人将玉米产量分为穗数、穗粒数和粒重 3 个要素, 其中, 穗数是受种植密度控制^[4~6], 所以是生产中最容易调整的产量因子。同时, 众多学者认为, 通过增加种植密度是实现高产的一个手段^[7~9]。当代玉米品种单产的提高主要归功于种植密度的增加而不是单株产量的提高。这主要是因为玉米的高耐密性和高资源利用效率提高了产量潜力。因此, 现代玉米产量的提高主要是通过提高种植密度实现, 但是密度也影响玉米杂交种的生产力和稳产性^[10]。对于作物群体来说, 群体内部个体之间存在激烈竞争, 高密度情况下竞争更激烈。竞争导致单株间的长势发生

收稿日期: 2015-02-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401297)、北京市青年英才专项(31056101)、公益性行业科研专项项目(201303133)

作者简介: 王云奇(1985-), 男, 博士, 主要从事作物高产和资源高效利用研究。E-mail: wyqay163@163.com

张英华为本文通讯作者。

E-mail: zhangyh1216@126.com

差异,从而严重降低资源的利用效率,最终降低子粒产量。同时,增加密度会延长抽雄吐丝间隔期^[11,12],导致授粉不良和大量子粒败育^[13]。所以,随着种植密度的增加,穗粒数急剧下降^[14]。另外,高密度群体的冠层结构通风透光不好^[15,16],造成花后叶面积急剧下降,影响子粒灌浆和粒重。

增加种植密度的情况下实现高产,首先要采取措施改善群体结构。影响群体结构的主要因素是种植方式和玉米株型。宽窄行种植^[17]、合理的施氮模式^[18]和局部化控^[19]可以改善群体结构,提高产量。在种植密度一定的前提下,通过一穴多株来调整株距能否改善夏玉米子粒灌浆还不明确。本研究研究在密度一定的前提下,探讨并验证一穴多株种植能否改善子粒灌浆和增加玉米产量。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2013、2014年在中国农业大学吴桥实验站(北纬37°41′02″,东经116°37′23″)进行。该地区全年光照2 724.8 h,年平均气温12.9℃,无霜期201 d,试验区属海河平原黑龙港流域中部,暖温带季风气候,海拔14~22 m,年降水量历年平均562 mm,主要分布在6~8月份。土壤为冲积型盐化潮土,壤质底粘,地下水位7~9 m,2 m土体有效贮水420 m³。耕作层土壤pH值8.12,有机质含量11.1 g/kg,全氮0.9 g/kg,速效磷18.0 mg/kg,速效钾78.8 mg/kg,土壤肥力中等。该地区2013年8月中下旬(夏玉米吐丝后半个月内)发生严重干旱。

氮肥为普通尿素(含N 46%),施氮量240 kg/hm²,磷肥施过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)105 kg/hm²(以P₂O₅计),钾肥施硫酸钾(含K₂O 50%)120 kg/hm²(以K₂O计)。夏玉米于播前将磷肥、钾肥和氮肥作为基肥一次性施入。

采用随机区组设计,种植密度为82 500株/hm²,设3个处理:一穴一株(CK,P1)、一穴二株(P2)、一穴三株(P3)。供试品种为郑单958,小区面积6 m×10 m,行距60 cm。

1.2 测定项目与方法

叶面积:于6叶展(V6)、12叶展(V12)、吐丝期(R1)、吐丝后20 d(DAS20)和成熟期(M),在每小区选取有代表性植株3株,测量每株绿叶的长与宽,按公式计算叶面积指数。叶面积=长×宽×0.75, LAI=绿叶面积/土地面积。

光合指标:在吐丝期选取有代表性植株3株,采用美国产LI-6400型便携式光合测定系统测定穗

位叶净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间CO₂浓度。

叶绿素相对含量(SPAD值):在吐丝期每个小区选定代表性植株5株,吐丝期、吐丝后10、20、30、40、50 d,采用日本美能达公司生产的SPAD值-502型叶绿素仪测量穗位叶SPAD值,每片叶测10点(左右各5点)。

枯叶:在吐丝期,每个小区选取有代表性植株5株,分别在吐丝期及吐丝后10、20、30、40、50 d调查枯叶数,黄色叶面积占整个叶片的50%及50%以上视为枯叶。

灌浆速率:在抽丝前选取生长健壮、整齐一致、有代表性的植株30~40株挂牌标记,待雌穗从叶鞘中露出时将标记植株雌穗套袋。抽丝后人工统一授粉,分别在授粉后10、20、30、40、50 d选取有代表性的果穗3穗,分别取穗下部子粒(从基部起向上数10粒)、中部子粒(从基部起10~20粒)、上部子粒(除去下部、中部的剩余子粒),各部位子粒分别混合后随机取样,以100粒为单位,采用量筒排水法测量子粒体积;在105℃下杀青15~20 min,于80℃烘至恒重,称子粒干重。

测产:在成熟期调查每小区的实际穗数和空秆率,收获中间4行(每行4 m),称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取20穗,调查穗粗、穗长、行数、行粒数和秃尖长;而后脱粒,调查千粒重,测定出籽率和含水率,计算实际产量(按14%含水率折算)。

1.3 数据统计与分析

数据处理采用Microsoft Excel 2010,统计分析采用SAS8.0软件完成,采用Duncan法检验处理间显著水平($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 一穴多株种植对夏玉米粒重和产量的影响

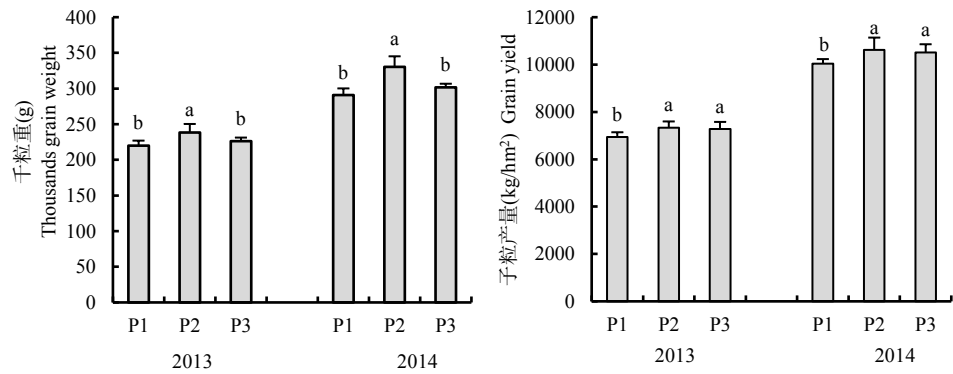
2013年,P2处理的粒重显著大于P1处理,P1与P3处理之间差异不显著;2014年的粒重大于2013年,两年的规律一致。2013年,与P1处理相比,P2、P3处理分别增产5.8%、4.9%;2014年P2处理的产量最高,P1处理的最低(图1),2014年的产量高于2013年。分析表明,利用一穴二株种植可显著提高夏玉米的粒重和产量。

2.2 一穴多株种植对夏玉米穗部性状的影响

2013年,P2处理的穗长最大,P1处理的穗长最小;各处理的穗粗相当;P2、P3处理的行数和行粒数显著大于P1处理;与对照P1处理相比,P2、P3处理

的秃尖长分别降低 15.4%、15.4%。2014 年,P2、P1、P3 处理的空秆率依次增加;P1、P3、P2 处理的穗长依次增加;各处理间穗粗差异不显著;行数和行粒数均表现出 P2 处理显著大于 P1 处理,P1 与 P3 处理间差

异不显著;P1 处理的秃尖长最大,P2 处理的秃尖长最小。2014 年,P2、P1、P3 处理的空秆率依次增加,2013 年的空秆率大于 2014 年。采用一穴二株种植可以改善穗部性状、降低空秆率。



注:同年不同小写字母表示在 5% 水平差异显著。
Note: Different letters in the same year indicated significant difference at 5% level.

图 1 一穴多株种植对粒重和子粒产量的影响

Fig.1 Grain weight and yield of summer maize under planting patterns of more plants per hill

表 1 一穴多株种植对夏玉米穗部性状和空秆率的影响

Table 1 Ear traits and empty stalk of summer maize under planting patterns of more plants per hill

年 份 Year	处 理 Treatment	穗长(cm) Ear length	穗粗(cm) Ear diameter	行数(行) Number of rows	行粒数(粒) Kernels/row	秃尖长(cm) Bare top length	空秆率(%) Empty stalk
2013	P1	14.3 b	4.6 a	14.2 b	32.8 b	3.9 a	10.0 b
	P2	15.2 a	4.8 a	14.6 a	34.5 a	3.3 b	8.3 c
	P3	14.6 b	4.7 a	14.6 a	33.3 a	3.3 b	20.0 a
2014	P1	15.0 c	5.0 a	13.7 b	35.3 b	1.8 a	2.7 b
	P2	16.1 a	5.1 a	14.5 a	38.4 a	1.4 c	2.2 c
	P3	15.6 b	5.0 a	13.8 b	35.5 b	1.6 b	4.4 a

注:同列不同小写字母表示在 5% 水平差异显著。下表同。
Note: Different letters in the same column indicated significant difference at 5% level. The same below.

2.3 一穴多株种植对夏玉米光合作用的影响

与 P1 处理相比,P2 和 P3 处理的气孔导度分别提高 70.4%、267.6%;P3 处理的胞间 CO₂ 浓度最高,P1 处理最低;各处理的蒸腾速率与胞间 CO₂ 浓度规

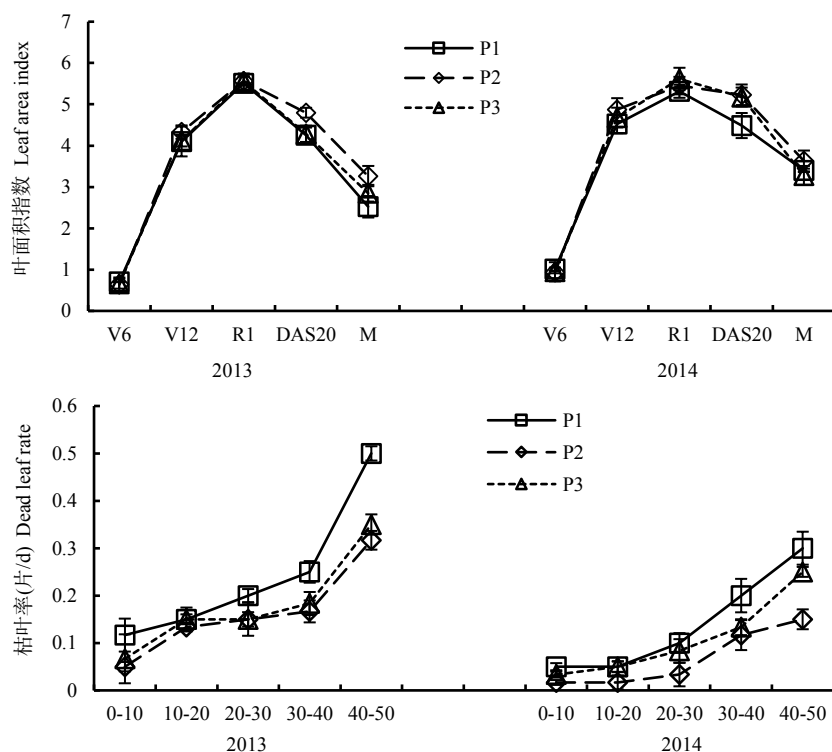
律一致;P2 处理的净光合速率显著大于 P1 处理,P3 与 P1 处理间差异不显著(表 2)。一穴多株种植改善了气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率,提高了净光合速率。

表 2 一穴多株种植对夏玉米吐丝期光合作用的影响

Table 2 Stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate, net photosynthetic rate of summer maize under planting patterns of more plants per hill at silking stage

处 理 Treatment	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)] SC	胞间 CO ₂ 浓度 (μL/μL) ICC	蒸腾速率 [mmol/(cm ² ·s)] TR	净光合速率 [μmol/(m ² ·s)] NPR
P1	0.08 c	56.6 c	1.7 c	13.9 b
P2	0.13 b	102.3 b	2.6 b	14.9 a
P3	0.28 a	138.6 a	3.1 a	14.2 b

2.4 一穴多株种植对夏玉米叶面积指数、枯叶率和SPAD值的影响

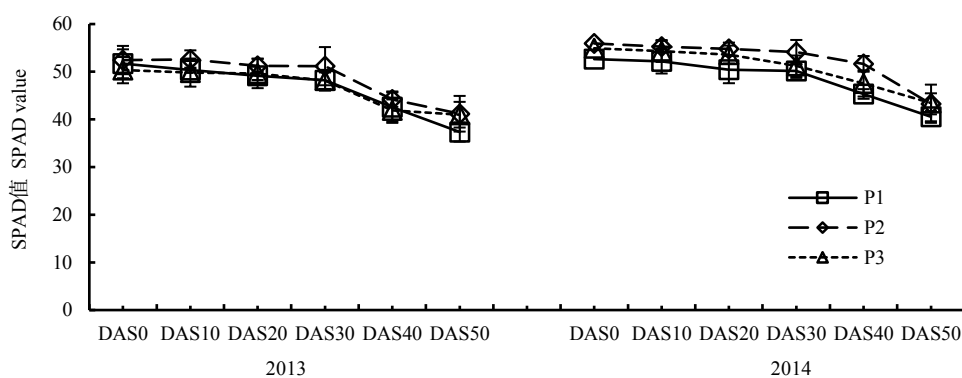


注: V6为6叶展; V12为12叶展; R1为吐丝期; DAS20为吐丝后20 d; M为成熟期; 0~10为吐丝后0~10 d; 10~20为吐丝后10~20 d; 20~30为吐丝后20~30 d; 30~40为吐丝后30~40 d; 40~50为吐丝后40~50 d。

Note: V6 indicated 6 leaf exhibition; V12 indicated 12 leaf exhibition; R1 indicated silking stage; DAS20 indicated 20 d after silking; M indicated maturity; 0-10 indicated 0-10 d after silking; 10-20 indicated spit 10-20 d after silking; 20-30 indicated 20-30 d after silking; 30-40 indicated 30-40 d after silking; 40~50 indicated 40-50 d after silking.

图2 一穴多株种植对夏玉米叶面积指数和枯叶率的影响

Fig.2 Leaf area index and dead leaf rate of summer maize under planting patterns of more plants per hill



注: DAS为吐丝后0 d; DAS10为吐丝后10 d; DAS20为吐丝后20 d; DAS30为吐丝后30 d; DAS40为吐丝后40 d; DAS50为吐丝后50 d。下图同。

Note: DAS indicated 0 d after silking; DAS10 indicated 10 d after silking; DAS20 indicated 20 d after silking; DAS30 indicated 30 d after silking; DAS40 indicated 40 d after silking; DAS50 indicated 50 d after silking. The same below.

图3 一穴多株种植对夏玉米SPAD值的影响

Fig.3 SPAD value of summer maize under planting patterns of more plants per hill

2013年,各处理的叶面积指数均从6叶展至吐丝期呈逐渐增加,而后呈急剧下降趋势(图2)。P1、

P2、P3处理在6叶展、12叶展和吐丝期的叶面积指数基本一致。在吐丝后20 d, P2处理的叶面积指数

最大,P1处理的叶面积指数最小。在成熟期,与P1处理相比,P2、P3处理的叶面积指数分别高29.4%、13.0%。2014年的叶面积指数大于2013年,两年间各处理叶面积指数变化规律相似。一穴二株种植可延缓花后叶面积下降。

2013年各处理的花后枯叶率从吐丝后10 d至吐丝后40 d呈缓慢升高趋势,而后急剧升高。各时期的枯叶率均表现出P2、P3、P1处理依次增加的规律。吐丝后30~30 d(40~50 d),与P1处理相比,P2、P3处理分别低33.3%、26.7%(36.7%、30.0%)。2014年各处理的枯叶率小于2013年,两年间的规律

一致。一穴多株种植可延缓花后叶片衰老,从而延缓花后叶面积指数下降。

2013年花后各处理得SPAD值均呈缓慢下降趋势。各时期的SPAD值都呈现出P2处理最大。吐丝后20 d(吐丝后30 d、40 d)的SPAD值都表现出P3、P1、P2处理依次增加的趋势(图3)。2014年花后SPAD值与2013年的变化趋势一致,花后各个时期的SPAD值均呈为P2处理最大、P1处理最小的趋势。

2.5 一穴多株种植对夏玉米子粒粒重、子粒体积和灌浆速率的影响

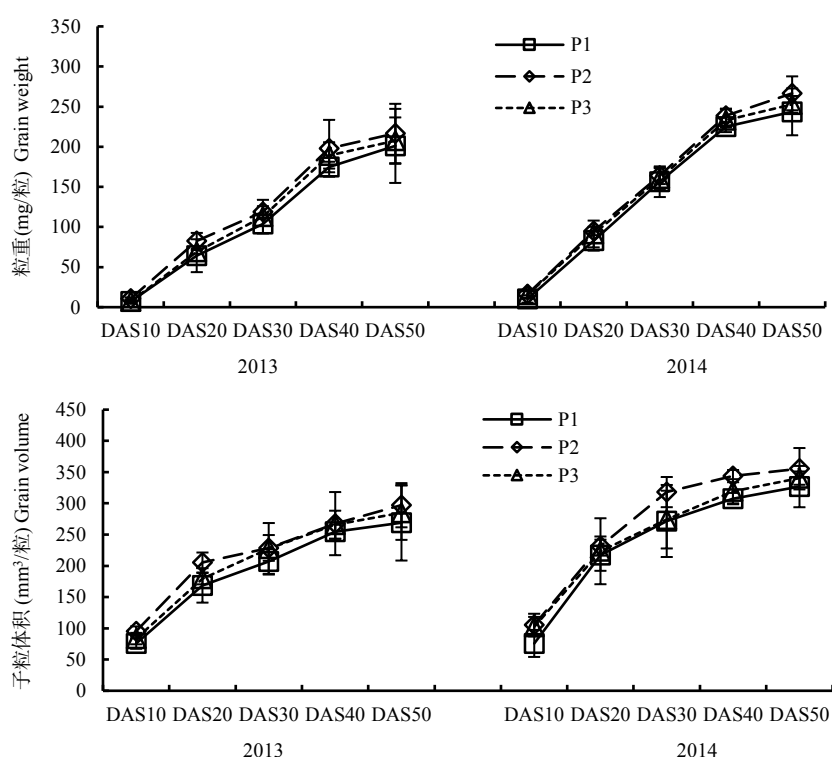


图4 一穴多株种植对夏玉米子粒粒重和体积的影响

Fig.4 Grain weight and grain volume of summer maize under planting patterns of more plants per hill

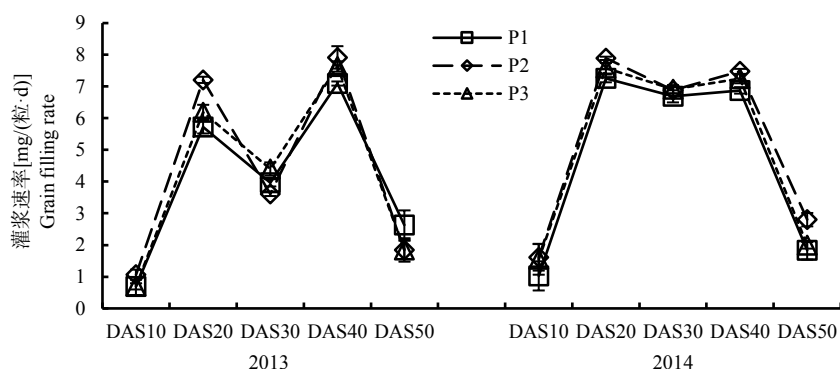


图5 一穴多株种植对夏玉米灌浆速率的影响

Fig.5 Grain filling rate of summer maize under planting patterns of more plants per hill

图4表明,2013年各处理的粒重在花后均呈逐渐增加趋势。一穴多株种植增加了各时期的粒重,在吐丝后20 d和50 d,与P1处理相比,P2、P3处理的粒重分别增加28.9%、7.4%和7.7%、3.3%。2014年的粒重大于2013年,两年间的规律一致。2013年各处理的花后子粒的体积均呈逐渐增加趋势,各时期均呈P1、P3、P2处理依次增加趋势。吐丝后20 d和吐丝后50 d, P1、P2、P3处理的子粒体积分别为168.7、205.3、179.5 mm³和268.9、297.0、285.1 mm³。2014年的子粒体积大于2013年,两年间的规律一致。

图5表明,2013年各处理的灌浆速率均呈倒“W”的变化趋势,在吐丝后20 d和吐丝后40 d出现两个峰值。在吐丝后20 d和吐丝后40 d处的灌浆速率均为P2处理最大、P1处理最小。2014年各处理灌浆速率的规律变化趋势也呈倒“W”的变化趋势。各时期的灌浆速率均表现出P1、P3、P2依次增加的趋势。吐丝后20 d和吐丝后40 d, P1、P2、P3处理的灌浆速率分别为7.3、7.9、7.6 mg/(粒·d)和6.9、7.5、7.2 mg/(粒·d)。可见,一穴多株距种植可改善子粒的灌浆速率,增加粒重和子粒体积。

3 结论与讨论

良好的群体结构是作物高产的前提^[20],改善群体结构是提高产量的一个手段^[21]。前人研究表明,通过大小行种植可以改善群体的通风透光条件,延缓花后叶片的衰老,最终提高产量^[22,23]。本研究表明,一穴多株的种植模式对花前叶面积没有明显影响,延缓了花后的叶面积下降。在2014年,花后30 d, P2、P3处理的叶面积比对照分别高12.9%、0.9%。有足够大的叶面积,才有高的光合效率^[24~26]。P2、P3处理的光合速率分别增加7.2%、3.6%。在高密种植的情况下,造成粒重下降的一个重要原因,是群体透光太差,导致叶面积衰老和叶绿素分解加快。本研究发现,在密度一定的情况下,采用一穴二株种植后,花后枯叶增加速率降低,花后SPAD值下降速率延缓。在花后30 d, P2处理的枯叶率比对照低25%, SPAD值比对照高6.1%。有了足够叶面积和叶绿素才能保证高光合速率。

在产量三要素中,最难调控和最难提高的产量因子是粒重,尤其在高密种植情况下,提高粒重更是一个难题^[27]。花后的足够叶面积和较高光合速率为子粒灌浆和粒重增加提供了保障^[28]。本研究发现,通过一穴多株的种植方式,花后粒重、灌浆速率、子粒体积得到明显改善,在吐丝后20 d和50 d,与P1处理相比,P2、P3处理的粒重分别增加28.9%、7.4%

和13.3%、8.3%;体积分别提高21.7%、6.4%和5.1%、4.4%;灌浆速率分别提高26.0%、8.1%和11.6%、7.6%。P2和P3处理的粒重和产量在2014年分别提高13.5%、3.7%和5.7%、4.7%。因为一穴多株种植改善了群体结构,延缓了花后叶面积的下降,为花后子粒灌浆提供了足够的叶面积,提高了叶片的光合效率,所以促进了子粒灌浆,最终提高了粒重和产量。同时,2014年的产量显著高于2013年的产量,主要是因为2013年吐丝后半个月内发生了严重干旱,导致秃尖和空秆率的提高。

一穴多株的种植方式虽然改善了群体结构,促进了灌浆,提高了粒重和产量,但是加剧了穴内个体之间的竞争。一穴三株与一穴二株相比,产量显著降低,这主要是因为随着穴内株数的增加,穴内个体竞争导致空秆数增加的结果。因此,一穴多株增产效应,随株数的增加而下降。在密度一定的前提下,通过一穴多株的种植模式来增加株距可改善光合效率,延缓花后叶片衰老,为夏玉米子粒灌浆提供足够叶面积,从而实现粒重和产量增加,一穴二株的种植方式比较合理。

参考文献:

- [1] FAO. The State of Food Insecurity in the World 2008. FAO, Rome (2008).
- [2] FAO. 2012. FAOSTAT - Agriculture Database. Available at <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (verified on 27.02.12).
- [3] 刘建超,褚群,蔡红光,等. 玉米SSR连锁图谱构建及叶面积的QTL定位[J]. 遗传, 2010, 32(6): 625-631.
Liu J C, Chu Q, Cai H G, et al. SSR linkage map construction and QTL mapping for leaf area in maize[J]. Hereditas, 2010, 32(6): 625-631. (in Chinese)
- [4] Engledow L, Wadham M. Investigation on yield in the cereal, Part I [J]. Journal of Agriculture Science (Camb), 1923, 13(1): 390-439.
- [5] Johnson D R, Tanner J W. Comparisons of corn (*Zea mays* L.) inbreds and hybrids grown at equal leaf area index, light penetration and population[J]. Crop Science, 1972, 12: 482-485.
- [6] 王云奇,陶洪斌,王璞,等. 施氮模式对夏玉米产量和子粒灌浆的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1594-1598.
Wang Y Q, Tao H B, Wang P, et al. Effect of nitrogen application patterns on yield and grain-filling of summer maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(12): 1594-1598. (in Chinese)
- [7] 钱春荣,于洋,宫秀杰,等. 黑龙江省不同年代玉米杂交种产量对种植密度和施氮水平的响应[J]. 作物学报, 2012, 38(10): 1864-1874.
Qian C R, Yu Y, Gong X J, et al. Response of grain yield to plant density and nitrogen application rate for maize hybrids released from different eras in Heilongjiang province[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(10): 1864-1874. (in Chinese)
- [8] 宋振伟,齐华,张振平,等. 春玉米中单909农艺性状和产量对密植的响应及其在东北不同区域的差异[J]. 作物学报, 2012, 38

- (12):2267–2277 .
- Song Z W, Qi H, Zhang Z P, et al. Effects of plant density on agro-economic characters and yield in spring maize zhongdan909 and their regional differences in Northeast China[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(12): 2267–2277. (in Chinese)
- [9] Echarte L, Luque S, Andrade F H, et al. Response of maize kernel number to plant population in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993[J]. *Field Crops Research*, 2000, 68: 1–8.
- [10] Tokatlidis I S, Koutroubas S D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability[J]. *Field Crops Research*, 2004, 88(2): 103–114.
- [11] Sangoi L, Gracietti M A, Rampazzo C, et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant population[J]. *Field Crops Research*, 2002, 79: 39–51.
- [12] Carcova J, Otegui M E. Ear temperature and pollination timing effects on maize kernel set[J]. *Crop Science*, 2001, 49: 1809–1815.
- [13] Edmeades G O, Daynard T B. The developmental of plant-to-plant variability in maize at different planting densities[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1979, 59: 561–576.
- [14] Hashemi-Dezfouli A, Herbert S J. Intensifying plant population response of corn with artificial shade[J]. *Agronomy Journal*, 1992, 84: 547–551.
- [15] Pommel B, Bonhomme R. Variations in the vegetative and reproductive systems in individual plants of an heterogeneous maize crop [J]. *European Journal of Agronomy*, 1998, 8: 39–49.
- [16] 陈雨海, 余松烈, 于振文. 小麦生长后期群体光截获量及其分布与产量的关系[J]. *作物学报*, 2003, 29(5): 730–734 .
- Chen Y H, Yu S L, Yu Z W. Relationship between amount or distribution of PAR interception and grain output of wheat communities [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(5): 730–734 . (in Chinese)
- [17] 王庆杰, 李洪文, 何进, 等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 39–43 .
- Wang Q J, Li H W, He J, et al. Effects of wide-ridge and narrow-row no-till cultivation on soil water and maize yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(8): 39–43. (in Chinese)
- [18] 王云奇, 陶洪斌, 杨利华, 等. 氮肥管理对夏玉米冠层结构和氮肥吸收利用的影响[J]. *玉米科学*, 2013, 21(3): 125–130 .
- Wang Y Q, Tao H B, Yang L H, et al. Effects of nitrogen managements on canopy structure and nitrogen absorption utilization of summer maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(3): 125–130. (in Chinese)
- [19] 边大红, 张瑞栋, 段留生, 等. 局部化控对夏玉米冠层结构、光合速率及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(1): 73–78 .
- Bian D H, Zhang R D, Duan L S, et al. Effects of partial spraying of plant growth regulator on canopy structure, photosynthetic rate and yield of summer maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(1): 73–78. (in Chinese)
- [20] Elias S M, Begum R, Sazzadur Rahman M, et al. Genotypic and phenotypic relatedness of a farmer-discovered variant with high-yielding rice growing in the same field[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2014, 301(1): 451–465.
- [21] Fang D D, Jenkins J N, Deng D D, et al. Quantitative trait loci analysis of fiber quality traits using a random-mated recombinant inbred population in Upland cotton(*Gossypium hirsutum* L.)[J]. *BMC Genomics*, 2014, 15(1): 87–87.
- [22] 梁 熠, 齐 华, 王敬亚, 等. 宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(4): 97–100 .
- Liang Y, Qi H, Wang J Y, et al. Effects of growth and yield of maize under eide and narrow row cultivation[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(4): 97–100. (in Chinese)
- [23] 刘朝巍, 张恩和, 谢瑞芝, 等. 玉米宽窄行交替休闲保护性耕作的根系和光分布特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(2): 203–209 .
- Liu C W, Zhang E H, Xie R Z, et al. Effect of conservation tillage of wide/narrow row planting on maize root and transmittance distribution[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(2): 203–209. (in Chinese)
- [24] 蒋彭炎, 洪晓富, 冯来定, 等. 水稻中期群体成穗率与后期群体光合效率的关系[J]. *中国农业科学*, 1994, 27(6): 8–14 .
- Jiang P Y, Hong X F, Feng L D, et al. Relation between percentage of ear-bearing of colony in the middle phase and photosynthesis efficiency in the late rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(6): 8–14. (in Chinese)
- [25] 高亮之, 郭 鹏, 张立中, 等. 中国水稻的光温资源与生产力[J]. *中国农业科学*, 1984, 1(17): 1 .
- Gao L Z, Guo P, Zhang L Z, et al. Light and heat resources and potential productivity of rice in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1984, 1(17): 1. (in Chinese)
- [26] 侯兴亮, 李景富, 许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. *园艺学报*, 2002, 29(2): 123–127 .
- Hou X L, Li J F, Xu X Y. Effects of low light on morphological and physiological indexes of tomato at different growth stages[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29(2): 123–127. (in Chinese)
- [27] 李少昆, 王崇桃. 中国玉米生产技术的演变与发展[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(6): 1941–1951 .
- Li S K, Wang C T. Evolution and development of maize production techniques in China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 42(6): 1941–1951. (in Chinese)
- [28] 刘 伟, 张吉旺, 吕 鹏, 等. 种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(7): 1301–1307 .
- Liu W, Zhang J W, Lü P, et al. Effect of plant density on grain yield dry matter accumulation and partitioning in summer maize cultivar Denghai661[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(7): 1301–1307. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)