

不同密度夏玉米群体冠层特征与籽粒含水率的关系

乔江方¹,朱卫红,李 川,代书桃,张美微,黄 璐,牛 军,郭国俊,刘京宝^{*}
(河南省农业科学院 粮食作物研究所,河南 郑州 450002)

摘要:为明确夏玉米冠层特征与灌浆过程籽粒含水率的关系,本研究以籽粒含水率变化差异较大的品种为材料,设置52 500、67 500、82 500株/hm²共3个不同的密度处理,研究了玉米不同密植群体下的籽粒建成期、乳熟期和完熟期冠层特征、籽粒含水率、叶绿素含量变化,并对冠层特征参数与籽粒含水率进行了相关分析。结果表明,随着密度增加,叶面积指数呈上升趋势,无截取散射呈下降趋势,品种间基因型差异较明显,3个时期蠡玉16穗位叶面积指数较先玉335品种3个时期分别高0.88%、10.59%、26.72%。叶绿素含量变化与叶面积指数变化趋势一致,先玉335籽粒建成期呈下降趋势,而蠡玉16峰值出现在乳熟期。蠡玉16各时期籽粒含水率均高于先玉335(分别高出3.97、5.93、2.47个百分点),67 500株/hm²密度处理籽粒含水率较高。籽粒含水率与冠层特征参数密切相关,其中,与基部叶面积指数呈极显著正相关($r=0.634^{**}$),与基部无截取散射和平均叶倾角均呈极显著负相关($r=-0.631^{**}$; $r=-0.711^{**}$)。
关键词:夏玉米;密度;冠层参数;籽粒含水率;叶绿素含量
中图分类号:S513 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2018)05-0012-05

Relationship between Canopy Structure and Grain Moisture Content in Summer Maize with Different Density

QIAO Jiangfang, ZHU Weihong, LI Chuan, DAI Shutao, ZHANG Meiwei,
HUANG Lu, NIU Jun, GUO Guojun, LIU Jingbao^{*}
(The Cereal Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to find out the relationship between summer maize canopy characteristic and moisture content in kernels during filling stage, this study chose Xianyu 335 and Liyu 16 as plant materials with three different densities, including 52 500, 67 500 and 82 500 plants/ha. The changes of canopy characteristic, kernel moisture content and chlorophyll contents in filling stage, milk-ripping stage and wax-ripping stage under the three different plant densities were analyzed. Then we studied the correlation between canopy characteristic parameters and grain moisture content. The results showed that the leaf area index showed an upward trend, the non interception scattering showed a downward trend with the increase of density. The genotypic difference between the varieties was more obvious. The ear leaf area indexes of Liyu 16 in the three periods were 0.88%, 10.59% and 26.72% higher than Xianyu 335, respectively. The change of chlorophyll content was consistent with the change trend of leaf area index. Xianyu 335 decreased in grain formation period, while the peak value of Liyu 16 appeared at the milky stage. The grain moisture content of Liyu 16 was higher than that of Xianyu 335, increased by 3.97, 5.93, 2.47 percentage points in the three periods respectively), and the moisture content of grain was higher in 67 500 plants/ha density treatment. The grain moisture content was closely related to the characteristic parameters of the canopy, and showed a very significant positive correlation with the basal leaf area index ($r=0.634^{**}$) and a very significant negative correlation with the non intercepted scattering and the mean leaf inclination of the base ($r=-0.631^{**}$; $r=0.711^{**}$).
Key words: Maize; Density; Canopy parameter; Kernel moisture content; Chlorophyll content

收稿日期:2017-12-01
基金项目:十三五重点研究计划项目(2017YFD0300407);国家自然科学基金项目(31701368);河南省科技厅基础前沿项目(162300410259);河南省农业科学院自主创新专项基金
作者简介:乔江方(1982-),男,河南宜阳人,助理研究员,博士,主要从事玉米栽培生理研究。E-mail:qiaojf@126.com
^{*} 通讯作者:刘京宝(1965-),男,河南虞城人,研究员,主要从事玉米栽培研究。E-mail:jblu1777@126.com

籽粒含水率是玉米生产中的重要考察指标,关系到玉米的籽粒品质^[1]、机收^[2]和仓储^[3]。影响籽粒含水率的因素较多,植株农艺性状^[4-6]、籽粒品质性状^[7-9]等与籽粒含水率变化有直接的关系,肥料^[10]、湿度^[11]、温度^[12]、光照^[13]等环境因子也起到一定的调控作用。密植是目前玉米增产的主要手段^[14],随着种植密度的增加,玉米籽粒灌浆进程受到一定程度的影响。例如,随着密度提高,蛋白质积累和蔗糖运转受阻^[15]、灌浆期光合物质生产能力下降^[16]等。籽粒灌浆过程的变化势必影响籽粒含水量变化,较多研究表明,籽粒灌浆与籽粒含水率变化存在密切关系^[12,17-18]。冯鹏等^[19]研究表明,自然脱水期籽粒水分含量变化与密度存在负相关。增密影响籽粒灌浆继而导致了籽粒含水率的变化,主要原因在于增密不仅改变了玉米植株本身农艺性状,同时改变了光照、湿度等玉米农田生态小气候^[20-21]。叶面积指数(LAI)、叶倾角(MTA)等冠层参数一定程度上可以反映出玉米群体的光截获和光分布^[22]。为进一步明确密度增加后田间生态小气候变化对籽粒含水率的影响,本研究通过对灌浆过程冠层特征和籽粒含水率的研究,旨在探明不同密度下玉米群体空间特征与籽粒脱水之间的关系,以期为玉米密植高产和机收籽粒提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2016年在河南省农业科学院试验基地(原阳)进行。试验地为潮土,地势平坦,排灌方便,地力均匀一致,前作小麦,土壤耕层0~30 cm有机质含量17.25 g/kg,全氮含量0.96 g/kg,速效氮含量79.35 mg/kg,速效磷含量10.22 mg/kg、速效钾含量94.56 mg/kg。

试验采用品种和密度两因素随机区组设计,品种为先玉335和蠡玉16,为便于不同密度条件下的数据分析,每个品种分别设52 500株/hm²(D1)、67 500株/hm²(D2)、82 500株/hm²(D3)3个密度水平,共6个处理,重复3次。

施氮肥180 kg/hm²(纯氮),分基肥和大喇叭口期追肥2次(比例5:5)施用,其中基肥为复合肥(氮磷钾比例15:15:15),追肥为尿素,在大喇叭口期追施。小区面积为5 m×3.6 m,60 cm等行距种植。6月13日播种,整个生育期保证水分供应充足,磷钾肥施用量为P₂O₅ 180 kg/hm²和K₂O 180 kg/hm²,均做基肥施用,其他管理同一般高产田。

根据前期试验结果,先玉335(8月1日)较蠡玉16(8月3日)吐丝期早2~3 d,在吐丝前选取长势一致植株进行标记,在花丝统一抽出后,统一进行

人工授粉,并标记授粉日期,以此向后第3天为灌浆开始日期。根据籽粒灌浆特征结合本研究需要,分别在籽粒建成期(R2,8月10日,)、乳熟期(R3,8月28日)和完熟期(R6,9月29日)3个籽粒关键发育期进行取样和冠层分析及其他生理指标测定。

1.2 测定项目及方法

籽粒含水率测定:每处理选取吐丝前已标记的长势一致植株3株。取果穗籽粒各300粒,称鲜质量(FW),在75℃下烘干至恒质量测定籽粒干质量(DW),用于计算籽粒含水率。

采用Li-2200(Li-cor company, USA)测定玉米冠层特性,主要分析LAI、无截取散射(DIFN)和平均MTA指标变化。

运用SPAD-502叶绿素计测定叶片叶绿素含量(SPAD值),叶绿素含量和光合特性测定部位相同,均为穗位叶片距离叶尖部位1/3处。

2 结果与分析

2.1 密度对夏玉米群体冠层特征参数的影响

不同基因型夏玉米品种在籽粒建成期、乳熟期和完熟期叶面积指数存在较大差异,蠡玉16穗位叶面积指数较先玉335三个时期分别高0.88%、10.59%、26.72%,且随着灌浆进程呈递增趋势。而基部叶面积指数分别高14.27%、11.30%、10.92%,呈递减趋势,表明同一密度处理下蠡玉16群体大于先玉335,且随着灌浆进程,穗位层叶面指数下降速度大于蠡玉16。叶面积指数2个品种不同密度处理之间的变化趋势一致,均随着密度增大叶面积指数呈上升趋势。无截取散射为冠层中散射光线占总有效辐射的比例,先玉335品种无截取散射高于蠡玉16,穗位层3个灌浆时期先玉335较蠡玉16品种无截取散射分别高7.02%、32.31%、47.62%,基部分别高42.86%、78.57%、33.33%。密度效应不同品种间表现一致,无截取散射随着种植密度增加呈下降趋势。叶倾角主要反映了植株叶片形态,先玉335叶倾角明显高于蠡玉16,所有处理叶倾角平均值先玉335高6.62°,叶倾角主要受基因型控制,不同灌浆时期和不同密度处理对叶倾角的影响没有一致的规律(表1)。

2.2 密度对不同灌浆期玉米叶片叶绿素含量的影响

蠡玉16灌浆过程叶片叶绿素含量整体高于先玉335(4.83%),且在灌浆乳熟期和完熟期仍保持较高的叶绿素含量。2个品种灌浆过程叶绿素含量变化趋势不同。先玉335在籽粒建成期后叶绿素含量呈下降趋势,而蠡玉16在乳熟期叶绿素含量达到最大。密度对叶绿素含量影响较大,先玉335三个

灌浆时期随着密度增加叶绿素含量呈下降趋势,而 上升趋势,随后与先玉 335 变化趋势一致(图 1)。 蠡玉 16 在籽粒建成期随着密度增加叶绿素含量呈

表 1 不同密度对玉米冠层参数的影响

品种	灌浆时期	密度	LAI		DIFN		MTA	
			穗位	基部	穗位	基部	穗位	基部
先玉 335	R2	D1	1.71bc	3.07c	0.29ab	0.11b	62.74ab	48.61c
		D2	2.33ab	3.64b	0.18bc	0.06bcd	57.58ab	52.83bc
		D3	2.74a	4.64a	0.14c	0.03d	58.54ab	50.48c
	R3	D1	1.44c	2.58cd	0.36a	0.16a	67.74a	61.38a
		D2	1.81bc	4.24a	0.27abc	0.05cd	57.93ab	57.23ab
		D3	2.13ab	4.24a	0.23abc	0.04cd	61.08ab	48.93c
	R6	D1	1.46c	2.47d	0.37a	0.16a	52.44b	57.79ab
		D2	1.44c	2.50d	0.36a	0.16a	61.06ab	59.94a
		D3	2.19ab	3.64b	0.20bc	0.08bc	51.21b	61.29a
蠡玉 16	R2	D1	1.93abc	3.75b	0.24abc	0.06bc	55.87a	48.14ab
		D2	2.45ab	4.65a	0.16bc	0.03de	51.65ab	46.37b
		D3	2.46ab	4.57a	0.17bc	0.05cd	54.57ab	49.45ab
	R3	D1	1.94abc	3.67b	0.21abc	0.06c	40.77b	46.16b
		D2	1.79bc	3.68b	0.25ab	0.06c	47.80ab	48.37ab
		D3	2.22abc	4.96a	0.19abc	0.02e	53.94ab	47.54b
	R6	D1	1.72c	3.04c	0.29a	0.11a	53.71ab	57.60a
		D2	2.61a	3.04c	0.14c	0.11a	52.58ab	52.82ab
		D3	2.12abc	3.47bc	0.20abc	0.08ab	51.55ab	56.08ab

注:不同小写字母表示处理间呈 0.05 显著水平,下同。

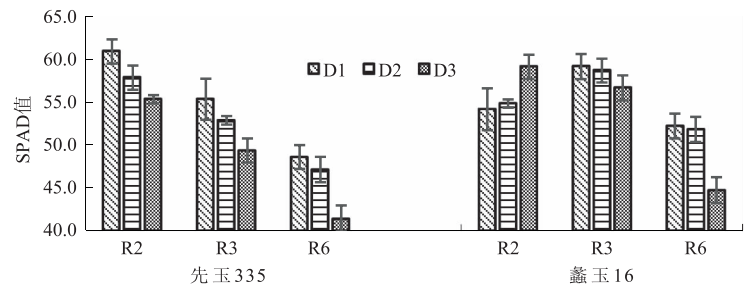


图 1 不同密度对玉米叶绿素含量的影响

2.3 密度对玉米群体籽粒含水率的影响

蠡玉 16 籽粒含水率整体高于先玉 335,籽粒建成期、乳熟期和完熟期 3 个密度处理平均值蠡玉 16 分别高于先玉 335 3.97、5.93、2.47 个百分点,蠡玉 16 与先玉 335 在不同密度处理下籽粒含水率达到显著水平。密度对籽粒含水率影响不同品种间变化规律不同,先玉 335 在 67 500 株/hm² 处理条件下籽粒含水率最高,且 3 个灌浆时期规律性一致,而蠡玉 16 在完熟期(R6)低密度(52 500 株/hm²)条件下籽粒含水率最低,而其他 2 个灌浆时期与先玉 335 规律一致,也是在 67 500 株/hm² 处理条件下籽粒含水率最高(表 2)。

表 2 不同密度对玉米籽粒含水率的影响

品种	密度	R2	R3	R6
先玉 335	D1	80.68c	59.06b	32.03b
	D2	85.08ab	63.22ab	36.77a
	D3	84.33bc	61.26ab	32.48b
蠡玉 16	D1	86.05ab	62.40ab	37.18a
	D2	88.57a	67.66ab	35.75a
	D3	87.40ab	71.24a	35.77a

2.4 玉米冠层特征参数与籽粒含水率的相关性分析

对本研究中测定的穗位层和基部冠层参数 LAI、DIFN 和平均 MTA 与籽粒含水率进行相关分析(表 3),结果表明,穗位层和基部冠层无截取散射与叶面积指数呈极显著负相关;叶倾角与叶面积指数呈负相关,其中基部冠层无截取散射和叶面积指数达到极显著水平;而平均叶倾角与无截取散射呈正相关,其中基部冠层达到极显著水平。即反映出叶面积指数越大无截取散射越小,平均叶倾角越大无截取散射越大。

籽粒含水率与叶面积指数呈正相关,其中与基部叶面积指数达到极显著正相关($r = 0.634^{**}$);籽粒含水率与无截取散射呈负相关,其中与基部无截取散射达到极显著负相关($r = -0.631^{**}$);籽粒含水率与穗位平均叶倾角呈正相关,与基部平均叶倾角达到极显著负相关($r = -0.711^{**}$)。

表 3 冠层特征参数与籽粒含水率相关分析

项目	穗位 LAI	基部 LAI	穗位 DIFN	基部 DIFN	穗位 MTA	基部 MTA	籽粒含水率
穗位 LAI	1.000						
基部 LAI	0.694 **	1.000					
穗位 DIFN	-0.971 **	-0.729 **	1.000				
基部 DIFN	-0.697 **	-0.949 **	0.779 **	1.000			
穗位 MTA	-0.235	-0.199	0.379	0.324	1.000		
基部 MTA	-0.462	-0.622 **	0.558 *	0.712 **	0.345	1.000	
籽粒含水率	0.380	0.634 **	-0.407	-0.631 **	0.150	-0.711 **	1.000

注:相关系数临界值, $r_{0.05}=0.468$, $r_{0.01}=0.590$ 。 **、* 分别表示在 0.01、0.05 水平相关性极显著、显著。

3 结论与讨论

3.1 不同密度不同株型夏玉米冠层特征的基因型差异

关于不同密度处理对玉米冠层特征的研究较多,有研究发现,合理密度种植有利于形成较好的群体冠层结构,有利于延缓衰老,增强光合作用能力,同时可以提高穗位层的透光率^[23-24],本研究结果表明,同一密度处理条件下不同株型玉米冠层特征存在较大的差异,蠡玉 16 群体大于先玉 335,进一步分析表明,随着灌浆进程,先玉 335 穗位层叶面指数下降速度大于蠡玉 16。密度增加无截取散射呈递减趋势,即密度增加群体小气候光合有效辐射(PAR)截获增加^[24-25]。先玉 335 穗位层和基部冠层无截取散射均高于蠡玉 16。不同品种间密度效应表现一致,无截取散射随着种植密度增加呈下降趋势。先玉 335 和蠡玉 16 属于紧凑和半紧凑型玉米均具有较高的叶面积指数和光能截获量,这与前人研究结果^[26-27]一致。本研究还发现,2 个品种冠层叶片叶绿素含量变化存在差异,先玉 335 叶绿素含量籽粒建成期至完熟期呈下降趋势,而蠡玉 16 叶绿素含量峰值出现在乳熟期,先玉 335 后期叶片衰老较快可能也是后期叶面积指数降低的原因。

3.2 玉米冠层空间无截取散射与籽粒含水率的关系

叶面积指数一定程度上反映了夏玉米群体的大小,无截取散射是指群体中未被冠层叶面 PAR 截获的比例,一定程度上可以反映群体的通风透光能力^[23],玉米籽粒含水率的降低即籽粒脱水与群体空间的通风透光能力存在一定的关系,对此前人开展了研究^[13,22]。本研究结果表明,叶面积指数越大无截取散射越小($r=-0.971^{**}$),即增加密度叶面积指数增加,无截取散射减小,平均叶倾角越大无截取散射越大($r=0.712^{**}$),存在基因型差异,先玉 335 平均叶倾角大于蠡玉 16,无截取散射表现出同样规律。无截取散射越大,有利于玉米田通风透光,籽粒含水率下降较快($r=-0.631^{**}$),因此,玉米生产中合理密植有利于籽粒脱水。

冠层结构参数存在明显的基因型差异,同密度处理条件下,蠡玉 16 群体大于先玉 335(叶面积指数较大),先玉 335 平均叶倾角和无截取散射均大于蠡玉 16。籽粒含水率与冠层特征参数存在密切关系,与基部叶面积指数呈极显著正相关,与基部无截取散射和平均叶倾角均呈极显著负相关,先玉 335 后期无截取散射上升较快,玉米田群体内部通风透光能力提高也是该类型品种籽粒含水率下降较快的原因之一。

参考文献:

[1] 张立国,张林,管春云,等. 玉米生理成熟后籽粒脱水速率与品质性状的相关分析[J]. 东北农业大学学报,2007,38(5):582-585.

[2] 倪长安,李心平,刘师多,等. 机收玉米破损的危害及预防[J]. 农机化研究,2009,31(8):221-224.

[3] 戴晓武. 玉米籽粒含水量对储藏品质的影响[M]. 沈阳:东北农业大学,2002.

[4] 李川,乔江方,谷利敏,等. 影响玉米籽粒机械直接收获质量的生物学性状分析[J]. 华北农学报,2015,30(6):1-8.

[5] 张树光,冯学民,高树仁,等. 玉米成熟期籽粒含水量与果穗性状的关系[J]. 中国农学通报,1994,10(2):15-17.

[6] 李凤海,郭佳丽,于涛,等. 不同熟期玉米杂交种及其亲本籽粒脱水速率的比较研究[J]. 玉米科学,2012,20(6):17-20,24.

[7] Misevic D, Alexander D E, Dumanovic J, et al. Grain moisture loss rate of high-oil and standard-oil maize hybrids[J]. Agron J,1988,80(5):841-845.

[8] Curtis P E, Leng E R, Hageman R H. Development changes in oil and fatty acid content of maize strains varying in oil content[J]. Crop Sci,1968,8(6):689-693.

[9] 乔江方,朱卫红,谷利敏,等. 夏玉米不同粒位蛋白质组分氮素效应及与籽粒脱水的关系研究[J]. 玉米科学,2017,25(4):92-96.

[10] 申丽霞,王璞,张红芳,等. 施氮对夏玉米不同部位籽粒灌浆的影响[J]. 作物学报,2005,31(4):532-534.

[11] 谭福忠,韩翠波,邹双利,等. 极早熟玉米品种籽粒脱水特性的初步研究[J]. 中国农学通报,2008,24(7):161-168.

[12] 鲍继友,孙月轩,姜先梅,等. 夏玉米灌浆与温度、籽粒含水率的关系[J]. 耕作与栽培,1994(5):22-26.

- effects of harvest on wild animal populations[J]. Trends Ecol Evol, 2008, 23: 327-337.
- [5] 章慧,董艳,张慧芸,等. 西北旱区主要气候资源的空间变异性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 8(31): 129-135.
- [6] 李亚卉,马静,吴斌,等. 宁夏杂草稻的遗传多样性及其亲缘关系分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 32-38.
- [7] 杨玉蓉,孙建昌,王兴盛,等. 宁夏不同年代水稻品种的遗传多样性比较[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 457-464.
- [8] 雷金银,吴霞,王长军,等. 1980—2015年宁夏农作物种植结构时空变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 172-178.
- [9] Normile D. Variety spices up Chinese rice yield[J]. Science, 2000, 289: 1119-1120.
- [10] 李丹婷,农保选,夏秀忠,等. 东南亚稻种资源收集与鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(4): 622-625.
- [11] 魏兴华,汤圣祥,余汉勇,等. 中国水稻国外引种概况及效益分析[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 5-11.
- [12] 刘百龙,石瑜敏,王威豪,等. 引进国际水稻所籼稻品系主成分及聚类分析[J]. 南方农业学报, 2011, 42(12): 1449-1453.
- [13] 齐永文,张冬玲,张洪亮,等. 中国水稻选育品种遗传多样性及其近50年变化趋势[J]. 科学通报, 2006, 51(6): 693-699.
- [14] 胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [15] 徐福荣,董超,杨文毅,等. 基于表型性状和SSR分子标记的云南省水稻主要育成品种(系)的遗传相似性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(5): 700-708.
- [16] 赵一洲,李正茂,路洪彪,等. 辽宁省水稻骨干亲本演变及遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 28-33.
- [17] 杨致荣,李润植,魏兴华. 微卫星标记对籼稻品种遗传多样性分析[J]. 山西农业科学, 2008, 36(8): 33-35.
- [18] 王兴春,杨致荣,魏兴华. 普通野生稻遗传多样性分析[J]. 山西农业科学, 2010, 38(5): 3-6.
- [19] 赵香娜,李桂英,刘洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(3): 302-307.
- [20] 苏晓妹,方宇星,刘钰龙,等. 水稻矮秆多分蘖突变体 *mz3* 的遗传分析和基因定位[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(5): 479-486.
- [21] 赵双玲,陈林,胡成成,等. 膜下滴灌栽培水稻品种农艺性状相关性与主成分分析[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(3): 15-18.
- [22] 陈小龙,马利奋,李培富,等. 宁夏粳稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(33): 43-49.
- [23] 李振姣,马斯霜,邵丽群,等. 宁夏外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 117-121.
- [24] 马斯霜,李振姣,赵璐,等. 宁夏水稻地方品种与自育品种表型性状遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2017, 26(2): 216-226.

(上接第15页)

- [13] 冯颖竹,余土元,陈惠阳,等. 环境光强对糯玉米籽粒主要品质成分的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 926-930.
- [14] 佟亚屏,程延平. 玉米密度与产量关系的研究[J]. 北京农业科学, 1995(1): 23-25.
- [15] 王萌,陈国强,金海燕,等. 不同种植密度和空间布局方式对夏玉米灌浆速率和籽粒品质的影响[J]. 天津农学院学报, 2015, 22(4): 9-12.
- [16] 徐韶. 种植密度对春玉米灌浆期光合特性及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(11): 3216-3217, 3220.
- [17] 赵淑杰,吴华民. 玉米籽粒自然脱水速率的分析[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(5): 24-26.
- [18] 张海艳,董树亭,高荣岐. 不同类型玉米籽粒灌浆特性分析[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 67-70.
- [19] 冯鹏,申晓慧,郑海燕,等. 种植密度对玉米籽粒灌浆及脱水特性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6): 92-100.
- [20] 余利,刘正,王波,等. 行距和行向对不同密度玉米群体田间小气候和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(8): 938-942.
- [21] 刘开昌,张秀清,王庆成,等. 密度对玉米群体冠层内小气候的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 489-493.
- [22] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4367-4376.
- [23] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 447-455.
- [24] 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,等. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(3): 246-252.
- [25] 蒙成,吴雅芳,贾亚涛. 早熟玉米自交系主要农艺性状配合力分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(3): 424-430.
- [26] 薛吉全,鲍巨松,杨成书,等. 玉米不同株型群体冠层特性与光能截获量及产量的关系[J]. 西北农业学报, 1995, 4(1): 29-34.
- [27] 谢圣杰,邢国芳,贾亚涛,等. 氮磷施肥对玉米叶片生长及光合特性的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(3): 387-391.