

拔节期淹水对不同株高夏玉米产量、 形态特征及物质生产的影响

李从锋¹, 贾春兰², 陶志强¹, 杨今胜², 柳京国², 赵 明¹

(1. 中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部生理生态重点实验室, 北京 100081; 2. 山东登海股份有限公司, 山东 莱州 261448)

摘 要: 选择不同株高夏玉米品种登海 661(DH661, 矮秆品种)和登海 605(DH605, 高秆品种), 设置两个种植密度(52 500 株/hm²和 75 000 株/hm²), 比较研究因自然降雨引起拔节期淹水对玉米植株形态和物质生产的影响及其与产量的关系。结果表明, 拔节期淹水后, 两个类型品种子粒产量均显著降低, 穗粒数明显降低, 千粒重降幅较小。淹水后不同株高夏玉米各个节间干物量显著降低, 玉米株高、穗位高降低, 各节间长及茎粗均变小, 其中, 第 3 节间及穗位节间降幅最大, 高秆品种高密度条件下更为显著。相关分析表明, 淹水处理后株高、穗位高、平均节间长与产量显著负相关, 粒叶比、冠根比与产量相关不显著。表明夏玉米子粒产量降低主要是淹水胁迫降低了植株茎秆中物质积累量(特别是第 3 节间和穗位节间), 明显抑制了穗分化而导致穗粒数减少所致。

关键词: 夏玉米; 淹水; 植株形态; 物质生产; 产量

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Waterlogging at Jointing Stage on Grain Yield, Plant Morphology and Dry Matter Production in Different Plant Height of Summer Maize

LI Cong-feng¹, JIA Chun-lan², TAO Zhi-qiang¹, YANG Jin-sheng², LIU Jing-guo², ZHAO Ming¹

(1. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences /

Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081;

2. Denghai Seed Co., Ltd. of Shandong Province, Laizhou 261448, China)

Abstract: This study chooses summer maize (*Zea mays* L.) (i.e. dwarf Denghai661, DH661; and high stem Denghai605, DH605) at the different plant height; and set the high and low planting density (52 500 plants/ha and 75 000 plants/ha) to analyze characteristics of plant morphological and material production, and relationship between them and yield at jointing stage under waterlogging caused by rainfall. The results showed that compared with no waterlogging treatment, grain yield of DH661 and DH605 were significantly decreased in two planting density, and kernel number were significantly decreased. The decline increased along with the density increase in the dry matter accumulation of each internodes and reduced plant height, ear position height, the internodes length in waterlogging, and the length of the third internode reduced as the largest proportion in two planting density. The results of correlation analysis between main characters and grain yield showed that plant height, the internode length and stem dry weight had significant positive correlation. Overall, the main reason for summer maize subjected to waterlogging to reduce yield is that waterlogging stress reduced dry matter accumulation in the stem, and significantly inhibited the ear differentiation and resulted in the decrease of kernel number.

Key words: Summer maize; Waterlogging; Plant morphology; Dry matter production; Yield

录用日期: 2018-12-10

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-02-12)、山东省玉米育种与栽培技术企业重点实验室开放课题

作者简介: 李从锋, 博士, 从事作物栽培生理研究。E-mail: licongfeng@caas.cn

贾春兰为同等贡献作者。

赵 明为本文通讯作者。

黄淮海地区夏玉米需水量大但不耐渍涝,在其生育期前中期易遭遇因季风气候引起降雨而形成的淹水胁迫^[1],土壤淹水会严重抑制作物的生长发育和产量形成^[2,3]。渍涝胁迫降低夏玉米株高、茎粗、叶面积等农艺性状,降低光合性能造成叶片早衰,同时导致玉米局部缺氧,限制根系生长发育,使根冠比不协调,植株倒伏率明显增加^[4~6],最终降低子粒产量^[7,8]。夏玉米前期遭遇渍涝,主要减少穗粒数,后期遭遇渍涝主要影响子粒灌浆而导致穗重大幅降低^[9]。拔节期和抽雄期积水时间持续3 d以上明显减产,拔节期积水超过5 d,抽雄期积水超过7 d,夏玉米可能出现绝收的风险^[10]。

不同玉米品种根系对渍涝的反应存在明显基因型差异^[11],不同株高夏玉米品种根系垂直分布不同^[12],且随着株高的增加,花后干物质积累量显著降低^[13]。高秆品种适宜密度和经济系数低,群体质量易受增密的负作用影响,矮秆品种对密度反应相对迟钝^[14]。关于淹水胁迫对不同株高夏玉米植株形态、物质积累及其与产量关系的研究鲜见报道。因此,本文选择不同株高夏玉米品种,比较研究因自然降雨引起的拔节期淹水胁迫对夏玉米植株形态及物质生产的影响,明确不同株高玉米密植群体对淹水胁迫的响应特征,为夏玉米抗逆栽培与稳产高产提供有益借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2013年在位于山东莱州的国家玉米工程技术研究中心高产试验田(东经119°56.6',北纬37°20.7',海拔8.1 m)进行。土壤类型为沙壤土,0~20 cm土层含有机质1.15%、全氮0.096%、有效氮69.7 mg/kg、速效磷48.5 mg/kg、速效钾118.6 mg/kg。年均降雨量、日照时数和平均气温分别是760.9 mm、2 629.1 h和12.5℃,无霜期204 d。选用2个不同株高且具有超高产潜力的玉米杂交种登海661(DH661,矮秆品种)和登海605(DH605,高秆品种)^[15]。按照低密度(52 500株/hm²)和高密度(75 000株/hm²)种植,拔节期(7月9~27日)因小区地势低洼遇连续降雨(531.6 mm占全生育期降雨量75.6%)积水而发生涝害作为处理(地面积水或土壤饱和持续5 d以上),对照(CK)设置为2个品种在2个种植密度条件下小区在地势较高地方无涝害处理,共计8个处理,每个处理3次重复。小区面积80 m²。于6月10日播种,10月5日收获。总施氮量450 kg/hm²,分别于播前、大喇叭口期和授粉后耩施,比例为

2:1:2;播前一次性施入磷(P₂O₅) 225 kg/hm²、钾(K₂O) 300 kg/hm²,磷肥和钾肥分别采用磷酸二铵和硫酸钾。

1.2 测定方法

1.2.1 植株性状

在成熟期,各处理选取15株长势一致的代表性植株,测量植株株高和穗位高,计算穗位系数;同时从基部第2茎节开始测量茎秆各节间长、茎粗,取平均值。

1.2.2 干物质积累量

于玉米成熟期每个小区选取有代表性的植株5株,首先将地上部取下,按照叶片(含苞叶)、茎秆(含雄穗叶鞘穗轴和地下茎)和子粒分开,105℃杀青30 min后80℃烘至恒重,并且定倒三叶为中部,将茎秆和叶按上、中、下部分开,测定地上部干物质积累量;根系取样采用土壤剖面法,取长60 cm(垂直于行向以植株为中心)×宽20 cm(沿行向以植株为中心)的面积,取样深度为30 cm土壤挖出后,装入网袋,用冲根器冲洗根系,剔除杂质后置于80℃烘箱中烘至恒重,测定根系干重。

1.2.3 测产与考种

每个处理收取中间3行连续的30个果穗考种测产,考察穗部性状(穗粒数、百粒重)。

玉米产量(kg/hm²)=收获穗数(株/hm²)×穗粒数×千粒重(g)/1 000×[1-含水量(%)]/(1-14%)

1.3 数据分析

采用SPSS13.0进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 产量及其构成因素

由表1可知,拔节期淹水胁迫后不同株高玉米品种的产量均有不同幅度降低,且随着密度增加,淹水显著降低夏玉米的子粒产量($P<0.05$),尤其是高秆品种DH605的产量降低更明显($P<0.05$),其穗粒数与千粒重均显著降低($P<0.05$),但是收获指数保持稳定。淹水后,在种植52 500株/hm²密度条件下,DH661和DH605的产量分别降低16.0%和19.3%;在种植密度75 000株/hm²条件下,两个品种的产量分别降低21.3%和43.4%($P<0.05$)。

2.2 干物质积累与分配

由表2可看出,淹水后不同株高夏玉米植株各器官的干物质均降低,高秆品种DH605受影响更为显著($P<0.05$)。在52 500株/hm²密度下,DH661和DH605的整株干物质质量分别显著降低14.5%和22.1%;在75 000株/hm²密度下,两个品种整株干物

质量分别显著降低31.6%和42.1%。除穗粒重之外,茎秆重与其他器官相比所占的比例较大,且受涝害影响的茎秆干重降幅最大($P<0.05$)。在52 500株/hm²种植密度下,DH661和DH605的茎秆重量分别降低36.2%和27.5%;75 000株/hm²种植密度下,两个品种分别降低39.2%和57.6%。高密度群体受涝害影响茎秆重降低明显,且高秆品种相比矮秆品种降低更显著($P<0.05$)。

表1 淹水处理对不同株高夏玉米产量及其构成因素的影响

Table 1 Effect of waterlogging on grain yield and its components in summer maize varieties with different plant height

种植密度(株/hm ²)	处 理	千粒重(g)	穗粒数(粒)	经济产量(kg/hm ²)	收获指数
Plant density	Treatment	1 000-kernel weight	Kernels per spike	Grain yield	Harvest index
52 500	对照 DH661	454.8±4.1 a	489±10 b	10 150.4±92.0 c	0.54 b
	涝害 DH661	447.9±5.0 ab	388±10 d	8 520.3±106.4 f	0.54 b
	对照 DH605	435.2±3.0 c	488±14 b	11 627.9±93.2 a	0.55 a
	涝害 DH605	410.7±3.7 d	388±14 d	9 374.2±120.6 e	0.55 a
75 000	对照 DH661	441.5±6.1 bc	454±14 c	9 647.9±109.8 d	0.53 c
	涝害 DH661	450.6±5.1 ab	350±14 e	7 607.8±89.7 g	0.53 c
	对照 DH605	419.4±6.8 d	511±15 a	10 509.2±129.3 b	0.54 b
	涝害 DH605	399.3±6.0 e	312±9 f	5 942.9±120.3 h	0.54 b

注:同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下表同。
Note: Values followed by different letters indicated significant at 5% level at the same plant density. The same below.

表2 淹水后夏玉米干物质积累量与分配

Table 2 The Summer maize dry matter accumulation and distribution after waterlogging

种植密度 (株/hm ²)	处 理 Treatment	玉米植株各器官的干物质量(g) Parts weight of a maize plant							
		单 株 Plant	茎 秆 Stem	雄 穗 Tassel	苞 叶 Husk	穗 轴 Cob	穗粒重 Kernels weight	根 系 Root	叶 片 Leaf
52 500	对照 DH661	338.2±8.9 a	53.3±2.5 b	3.2±0.4 ab	16.4±1.8 a	30.1±1.3 a	173.3±2.8 a	30.4±2.2 a	31.5±2.0 a
	涝害 DH661	289.1±9.7 d	34.0±1.7 d	2.4±0.9 abc	14.9±1.4 ab	22.7±1.7 b	164.3±1.8 b	27.1±1.7 b	23.6±1.1 b
	对照 DH605	315.3±1.4 bc	57.1±1.6 a	2.3±0.2 bcd	13.2±0.3 bc	24.7±1.7 b	159.4±0.9 c	28.1±0.8 ab	30.6±3.6 a
	涝害 DH605	245.5±7.5 e	41.4±1.2 c	1.4±0.4 de	12.7±0.9 c	21.5±2.1 b	129.8±2.5 d	16.2±1.6 d	22.6±3.8 b
75 000	对照 DH661	327.5±12.0 ab	52.8±1.6 b	3.3±0.6 a	14.9±1.3 ab	27.8±1.1 a	165.7±2.5 b	30.5±1.9 a	32.5±3.4 a
	涝害 DH661	224.1±6.3 f	32.1±1.6 d	2.2±0.5 cd	9.5±1.2 d	15.5±1.9 c	124.4±2.2 e	20.1±1.3 c	20.3±2.3 bc
	对照 DH605	312.6±5.5 c	58.3±1.6 a	2.7±0.7 abc	12.3±1.1 c	23.4±2.3 b	167.3±2.4 b	17.5±0.9 cd	31.1±3.4 a
	涝害 DH605	180.8±7.1 g	24.7±1.1 e	0.9±0.3 e	8.6±1.1 d	14.3±1.7 c	103.8±2.1 f	12.7±1.0 e	16.0±2.6 c

2.3 淹水条件下夏玉米的茎秆形态

2.3.1 淹水条件下玉米的节间长变化

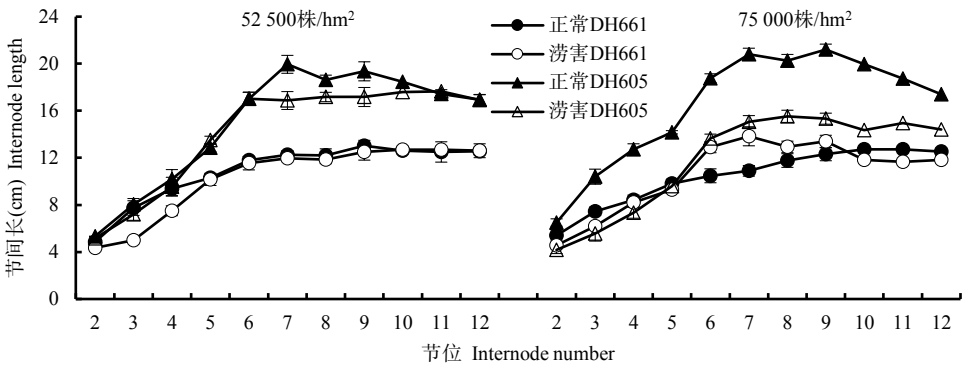


图1 淹水对不同株高夏玉米节间长的影响

Fig.1 Effect of waterlogging on internode length of different plant height in summer maize

淹水涝害显著降低了夏玉米的株高和穗位高,各节间长均被缩短,其中第3节间长的降幅最大,高秆品种在高密度种植条件下表现得更显著(图1)。在种植密度52 500株/hm²条件下,淹水后DH661和DH605的株高分别降低18.6%和13.2%,穗位高分别降低23.1%和10.9%,第6~10节间长度明显降低,其中第7节间(穗位节间)降低最为显著。在种植密度75 000株/hm²条件下,DH661和DH605的株高分别降低13.5%和25.6%,穗位高分别降低13.6%和36.2%。

2.3.2 淹水条件下夏玉米的茎粗变化

淹水涝害显著降低了不同株高夏玉米各节间的茎粗(图2),高秆品种在密度条件下各节间茎粗减小幅度更大($P<0.05$)。在种植密度52 500株/hm²条件下,DH661和DH605的2~12节间短轴茎粗分别平均减少为22.5%和12.7%,长轴茎粗分别平均减少15.4%和13.4%;在种植密度75 000株/hm²条件下,DH661和DH605的2~12节间短轴茎粗分别平均减少6.7%和13.7%,长轴茎粗分别减少3.5%和12.8%。

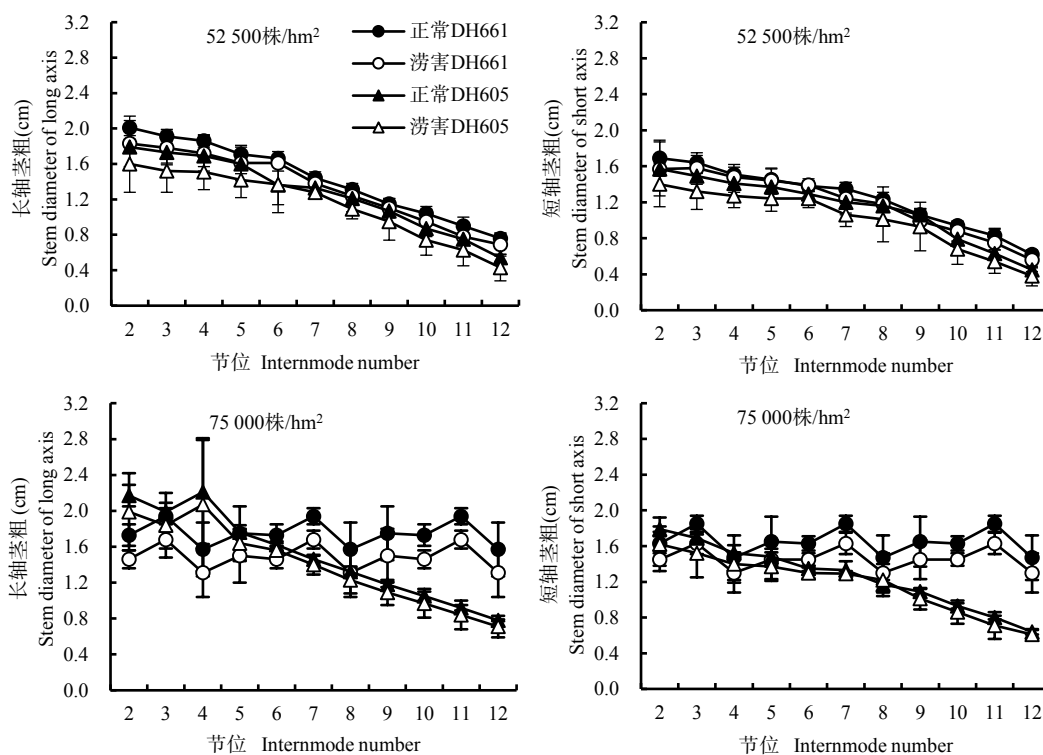


图2 淹水涝害对不同株高夏玉米茎粗的影响

Fig.2 Effect of waterlogging on internode of different plant height in summer maize

2.3.3 淹水条件下夏玉米茎各节间干物质量变化

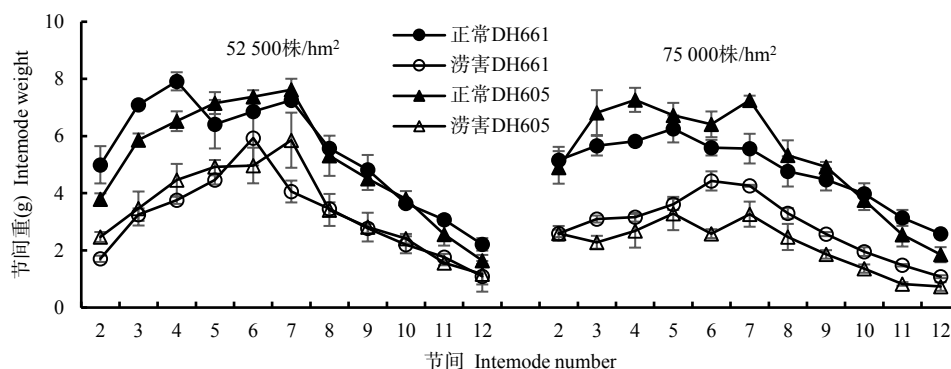


图3 淹水后夏玉米茎各节间的干物质量

Fig.3 Effect of waterlogging on internode weight of different plant height in summer maize

淹水涝害导致不同株高夏玉米各节间干物质质量显著降低($P<0.05$),并且随着密度增加,节间干物质积累量降幅加大,尤其对高秆品种DH605的节间干物质积累量影响显著(图3)。在种植密度52 500株/hm²条件下,DH661和DH605的所有节间干重平

均降低13.5%和10.2%;在种植密度75 000株/hm²条件下,两个品种各节间干重平均降低14.5%和16.7%。

2.4 淹水胁迫条件下夏玉米主要性状与子粒产量的相关性

表3 不同株高夏玉米主要性状与子粒产量的相关性
Table 3 Correlation of different traits and grain yield in summer maize

形态性状 Morphological trait	正常处理		涝害处理		质量性状 Quality trait	正常处理		涝害处理	
	Normal treatment		Waterlogging treatment			Normal treatment		Waterlogging treatment	
	DH661	DH605	DH661	DH605		DH661	DH605	DH661	DH605
平均茎粗	0.464	0.829*	0.692	0.771*	穗粒数	0.325	0.535	0.843*	0.714*
株 高	0.925*	0.936*	0.819*	0.645	千粒重	0.571	0.543	0.325	0.471
穗位高	0.825*	0.836*	0.759*	0.543	茎干重	0.429	0.456	0.881*	0.943**
第三节间茎粗	0.626*	0.656*	0.780*	0.871**	根干重	0.543	0.557	0.650*	0.687*
第三节间长	-0.551	-0.667	-0.997**	-0.812*	冠根比	0.612*	0.667*	0.450	0.357
穗位节间长	0.675	-0.600	-0.6	0.771	粒叶比	0.300	-0.086	0.349	-0.486
单位节间长	0.771	-0.600	-0.710	0.600	收获指数	-0.371	-0.314	-0.428	-0.638

注:* $P<0.05$,** $P<0.01$ 。
Note: * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

不同株高夏玉米的形态性状与质量性状与产量相关性表明,各处理中不同株高品种形态性状中平均茎粗、第三节间茎粗与子粒产量显著正相关($P<0.05$),第三节间长、穗位节间长及平均节间长均与产量负相关或相关不显著。质量性状中穗粒数、茎干重、根干重与产量呈显著正相关($P<0.05$),涝害条件下冠根比、粒叶比与收获指数等性状与子粒产量相关性不显著。

3 结论与讨论

淹水涝害是降低产量构成因素的主要灾害之一。本研究结果表明,拔节期淹水胁迫显著降低了玉米最终经济产量,矮秆品种DH661和高秆品种DH605的子粒产量分别较对照降低18.6%和31.3%。拔节期淹水胁迫明显了植株的穗分化过程,造成穗粒数明显降低。

玉米茎秆形态变化与穗分化具明显同伸关系,茎重与每穗小花分化数呈显著正相关。茎秆干重与其他器官相比(除穗粒重以外)所占的比例最大,且受涝害影响的干重降幅也最大,干物质积累、转运与分配决定了最终产量构成因素的高低^[16]。玉米株高、穗位高、近地面节间长度、茎粗和茎秆重量对植株的产量都可以产生影响,其子粒产量与第3节间粗度呈极显著相关,穗重增加最快的时期与基部第3节间充实同步^[17]。本研究认为,淹水涝害导致不同

株高夏玉米品种的植株各器官干物质积累量显著降低,并且高秆品种随着密度增加干物质积累量降幅越大,导致整株干物质质量下降的主要原因是茎秆质量的降低,涝害胁迫明显降低了植株第3节间长及穗位节间长度,进而降低了茎秆干物质积累量,最终影响了穗粒数及产量形成。

不同玉米品种根系及生长发育对渍涝的反应存在明显基因型差异^[18]。本研究认为,在同等密度条件下,高秆品种DH605与矮秆品种DH661相比受拔节期涝害影响更为明显,株高、穗位、节间长、茎粗等植株形态指标明显降低,密度越大高秆品种株高、茎粗与产量降幅越大。通过主要性状与产量相关分析表明,涝害处理后品种DH605与DH661的形态指标及物质积累状况与产量显著正相关,而物质运转相关指标与子粒产量相关均不显著。淹水胁迫主要是影响了植株茎秆物质积累能力,明显限制了穗分化能力,从而减少了穗粒数及子粒产量,且高秆品种在高密度条件下受影响更为显著。

夏玉米拔节期自然淹水胁迫,明显限制了地上部节间伸长、生长发育与物质积累,限制了植株的穗分化进程,进而引起穗粒数减少及子粒产量下降。涝害胁迫条件下产量降低与干物质积累量(特别是茎秆上第3节间及穗位节间)的变化密切相关,而与干物质向经济器官的转运分配状况(粒叶比、冠根比及收获指数)相关性不显著。高秆品种高密度背

景下对涝害胁迫反应更敏感。

参考文献:

- [1] 郁凌华. 黄淮海夏玉米涝渍灾害影响评估[D]. 南京信息工程大学, 南京, 2013.
- [2] 陈国平, 赵仕孝, 杨洪友, 等. 玉米涝害及其防御措施的研究——I. 芽涝对玉米出苗及苗期生长的影响[J]. 华北农学报, 1988(2): 12–17.
Chen G P, Zhao S X, Yang H Y, et al. Studies on waterlogging of corn and protection measures: (I) Effects of waterlogging at bud bursting stage on the emergence and early growth of seedlings of corn[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 1988(2): 12–17. (in Chinese)
- [3] 陈国平, 赵仕孝, 刘志文. 玉米的涝害及其防御措施的研究——II. 玉米在不同生育期对涝害的反应[J]. 华北农学报, 1989, 4(1): 16–22.
Chen G P, Zhao S X, Liu Z W, et al. Studies on waterlogging of corn and protection measures: (II) Responses of corn to Waterlogging in various growing stages[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 1989 (4): 16–22. (in Chinese)
- [4] 孙世贤, 戴俊英. 氮、磷、钾肥对玉米倒伏及其产量的影响[J]. 中国农业科学, 1989, 22(3): 28–33.
Sun S X, Dai J Y. Effect of Nitrogen, phosphate and potash fertilizers on lodging and yield in maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1989(22): 28–33. (in Chinese)
- [5] 李波, 张吉旺, 崔海岩, 等. 施钾量对高产夏玉米抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(11): 2093–2099.
Li B, Zhang J W, Cui H Y, et al. Effects of potassium application rate on stern lodging resistance of summer maize under high yield conditions[J]. Acta Argonomica Sinica, 2012(38): 2093–2099. (in Chinese)
- [6] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对高产夏玉米抗倒伏性能的影响[J]. 中国农业科学. 2013, 46(12): 2440–2448.
Ren B Z, Zhang J W, Li X, et al. Effects of waterlogging on stern lodging resistance of summer maize under field conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013(46): 2440–2448. (in Chinese)
- [7] 宋凤斌, 王晓波. 玉米非生物逆境生理生态[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 235–271.
- [8] Greenway H, Armstrong W, Colmer T D. Conditions leading to high CO₂ (>5 kPa) in waterlogged–flooded soils and possible effects on root growth and metabolism[J]. Annals of Botany, 2006, 98: 9–32
- [9] 杨京平, 陈杰. 不同生长时期土壤渍水对春玉米生长发育的影响[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(4): 188–192.
Yang J P, Chen J. The effects of soil waterlogging at different growth stages on the growth and development of spring corn[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1998, 10(4): 188–192. (in Chinese)
- [10] 房稳静, 武建华, 陈松, 等. 不同生育期积水对夏玉米生长和产量的影响试验[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 616–618.
Fang W J, Wu J H, Chen S, et al. Experiment for the impact of flood in different development stages on summer maize growth and yield[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009(30): 616–618. (in Chinese)
- [11] 僧珊珊, 王群, 李潮海, 等. 淹水胁迫下不同玉米品种根结构及呼吸代谢差异[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4141–4148.
Seng S S, Wang Q, Li C H, et al. Difference in root structure and respiration metabolism between two maize cultivars under waterlogging stress[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(20): 4141–4148. (in Chinese)
- [12] 范霞, 张吉旺, 任佰朝, 等. 不同株高夏玉米品种的氮素吸收与利用特性[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1830–1838.
Fan X, Zhang J W, Ren B Z, et al. Nitrogen uptake and utilization of summer maize hybrids with different plant height[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(10): 1830–1838. (in Chinese)
- [13] 李利利, 张吉旺, 董树亭, 等. 不同株高夏玉米品种同化物积累转运与分配特性[J]. 作物学报, 2012, 38(6): 1080–1087.
Li L L, Zhang J W, Dong S T, et al. Characteristics of accumulation, transition and distribution of assimilate in summer maize varieties with different plant height[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(6): 1080–1087. (in Chinese)
- [14] 杨利华, 张丽华, 杨世丽, 等. 不同株高玉米品种部分群体质量指标对种植密度的反应[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 139–146.
Yang L H, Zhang L H, Yang S L, et al. Responses of some population quality indices of corn hybrids differing on plant height to planting density[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2007, 22(6): 139–146. (in Chinese)
- [15] 杨今胜, 王永军, 张吉旺, 等. 三个超高产夏玉米品种的物质生产及光合特性[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 355–361.
Yang J S, Wang Y J, Zhang J W, et al. Dry matter production and photosynthesis characteristics of three hybrids of maize (*Zea mays* L.) with super-high-yielding potential[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(2): 355–361. (in Chinese)
- [16] 董红芬, 李洪, 李爱军, 等. 不同密度下玉米穗茎生长与雌穗分化的关系[J]. 玉米科学, 2010, 18(5): 65–71.
Dong H F, Li H, Li A J, et al. Relationships between spike and stern growth and female spike differentiation under different densities[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(5): 65–71. (in Chinese)
- [17] 汪黎明, 李建生, 姚国旗, 等. 玉米茎秆与根系抗倒的特性研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(2): 69–74.
Wang L M, Li J S, Yao G Q, et al. Characterization of resistance to stalk and root lodging in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(2): 69–74. (in Chinese)
- [18] Ren B Z, Zhang J W, Li X, et al. Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2014(94): 23–31.

(责任编辑: 栾天宇)