

新单 58 与高油 899 间作互补增抗增效效应分析

李方杰 洪德峰 史大坤 卫晓轶 魏 锋 马俊峰 刘经纬 马 毅 郑秋道 王稼苜
(新乡市农业科学院,河南新乡 453000)

摘要:为探究在遭遇极端暴风雨天气后,普通玉米与高油玉米间作下玉米的茎秆抗倒伏能力、抗虫能力以及籽粒产量和油分,以新单 58 和高油 899 为试验材料,设置单作和间作处理,研究了新单 58 和高油 899 间作对玉米茎秆抗倒伏能力、抗虫能力、产量和品质的影响,并对二者间作土地当量比进行了分析。研究结果表明,新单 58 和高油 899 间作相较于二者单作能够提高抗倒伏能力;能够减少主要害虫数量,减轻害虫对玉米的危害;能够增加玉米穗长、穗粗、穗粒数和百粒重;单位面积下二者间作产量之和比新单 58 和高油 899 单作产量分别增加了 14.59% 和 5.19%,新单 58 间作油分比单作提高了 17.96%;新单 58/高油 899 间作体系内土地当量比为 1.10,说明新单 58 和高油 899 间作优势明显。综上,新单 58 和高油 899 间作在极端不利天气影响下能够提高玉米抗倒伏能力和抗虫性,增加玉米产量和油分。

关键词:玉米;间作;抗倒伏;虫害;土地当量比

Effect Analysis of Xindan 58 and Gaoyou 899 Intercropping on Complement to Increase Synergistic and Resist

LI Fangjie, HONG Defeng, SHI Dakun, WEI Xiaoyi, WEI Feng, MA Junfeng,
LIU Jingwei, MA Yi, ZHENG Qiudao, WANG Jiamu
(Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453000, Henan)

玉米是中国主要的粮食和饲料作物之一,也是重要的工业原料,玉米生产对我国的粮食安全以及畜牧业和工业发展起到了至关重要的作用^[1]。近年来随着全球气候的变化,玉米生育期内的极端天气越来越多^[2],尤其是 2021-2022 年河南地区连续 2 年出现极端暴风雨天气,给河南部分地区玉米生产造成了重大影响。病虫害的发生也是制约玉米产量和品质的一个重要因素,有研究表明食叶类害虫对玉米叶片进行啃食,造成玉米光合能力降低甚至死亡,使玉米减产乃至绝收;蛀茎类害虫幼虫寄生在玉米茎秆内影响玉米穗部物质运输,造成玉米产量降低,被蛀玉米茎秆易发生茎秆折断,给玉米生产造成损失^[3]。玉米籽粒品质受到蛀穗类害虫的影响较大,玉米穗被害虫蛀食后雨水随被蛀孔洞进入穗内易造成穗腐病,使玉米品质降低^[4]。作物间作是一

种能够集约利用光、热、肥、水等自然资源的种植模式^[5]。生产实践和前人研究表明,间作可以通过协调作物间的竞争与互补关系,充分利用自然资源,减少极端不利天气、病虫害等方面对作物的危害,减少化肥农药的使用量,进而提高作物群体产量^[6]。

前人研究发现选择不同基因型玉米品种进行间混作,是生产中增产抗逆的关键^[7]。张三坤等^[8]试验表明不同玉米品种进行间作后,生育期遇到连续阴雨寡照天气时,可以提高玉米雌蕊的受精效率,改善玉米结实情况,达到增产减灾的目的。王永宏等^[9]利用高油玉米与普通玉米混种,使普通玉米籽粒含油率提高。宋同明^[10]利用普通玉米与高油玉米混作,通过高油玉米油分基因的花粉直感效应,提高了籽粒含油量和蛋白质含量,且产量也有所增加,但是关于普通玉米和高油玉米间作在受灾后玉米抗倒伏性和虫害的影响方面缺乏理论的研究和具体的试验支撑。本研究在前人试验基础上,通过新单 58

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-02-68)

通信作者:洪德峰

与高油 899 间作,研究二者在遭遇极端暴风雨天气后玉米的抗倒伏性能和虫害情况,为河南玉米抗灾提质和粮油一体化生产提供数据支撑和一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况 试验于 2022 年在河南省新乡市辉县市胡桥街道三小营村新乡市农业科学院试验基地(35°27'12" N,113°45'23" E)进行,试验地处于辉县市南部,地势平坦,海拔 85m,属暖温带大陆性季风型气候,年平均气温 14.1℃,1 月平均气温 -0.6℃,7 月平均气温 27.1℃,年平均降水量 589.1mm。耕作制度为冬小麦旋耕夏玉米免耕,种植制度为一年两熟。试验土壤为沙壤土,0~20cm 耕层土壤基础养分:土壤有机质含量 1.4%,全氮含量 1.08g/kg,有效磷含量 11.39mg/kg,速效钾含量 111.20mg/kg。

1.2 供试材料 供试玉米品种为新单 58(代号 XD58,由新乡市农业科学院选育)和高油 899(代号 GY899,由河南农业大学提供)。

1.3 试验设计 试验采用随机区组设计,在冬小麦季土地旋耕的基础上设新单 58 单作(XD58S)、高油 899 单作(GY899S)和新单 58 与高油 899 间作(XD58I,GY899I,行比为 2:2)3 个处理,每个处理设 3 个重复,小区面积为 210m²(6m×35m)。前茬作物为小麦,麦后人工耩播玉米,株距 25cm,行距 60cm,种植密度 6.75 万株/hm²。基肥为心连心复合肥 600kg/hm²,中期追施尿素 300kg/hm²。其他田间管理与当地生产习惯保持一致。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 气象数据统计 历年 6~9 月气象资料由新乡市试验基地气象站提供。

1.4.2 玉米株高、茎粗、穗位高、重心高和抗倒伏指标 于开花期在每小区内随机选取 6 株代表性植株,在田间测定茎秆抗弯曲力,以穗下节间中部为支点用 YYD-1 型茎秆强度测定仪缓缓用力推,直至植株与地面成 45°角,记录数值。然后沿基部将玉米砍下测定株高、穗位高、重心高、茎粗,截取基部第 3 伸长节间,使用 YYD-1 型茎秆强度测定仪测定穿刺强度、压碎强度和横折强度。计算穗位系数和茎秆抗倒伏指数。穗位系数 = 穗位高 / 株高,抗倒伏指数 = 茎秆横折强度 / 植株重心高度。

1.4.3 玉米虫害种类与虫害情况 于玉米乳熟期调查主要虫害种类和虫害情况,每小区选取 5 个点,每个点调查 30 株玉米。

1.4.4 产量及产量构成要素 玉米成熟后于田间每个小区选取 3 个点,每个点收取 20 穗进行测产,每个小区随机取 10 穗进行考种,测定玉米穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重等指标,并计算单位面积产量。

1.4.5 土地当量比及偏土地当量比 间作优势采用土地当量比(LE_R)和偏土地当量比(PLER)来衡量^[11]。

$$LE_R = Y_{ai}/Y_{as} + Y_{bi}/Y_{bs} \quad (1)$$

$$PLER(a) = Y_{ai}/Y_{as} \quad (2)$$

$$PLER(b) = Y_{bi}/Y_{bs} \quad (3)$$

式中:Y_{ai}和 Y_{bi}分别表示新单 58 间作和高油 899 间作的产量,Y_{as}和 Y_{bs}分别表示新单 58 单作和高油 899 单作的产量。PLER(a)和 PLER(b)分别表示新单 58 和高油 899 偏土地当量比。LE_R>1,表明有间作优势;LE_R<1,为间作劣势。

1.4.6 油分分析 玉米籽粒晾晒干后,采用瑞典 Perten 公司 DA7250 近红外品质分析仪测定玉米籽粒油分。

1.5 数据统计分析 利用 Microsoft Excel 2016 进行数据计算分析和绘图,SPSS27.0 软件进行处理间显著性检验(Duncan's)分析。

2 结果与分析

2.1 玉米全生育期 6-9 月降水量和气温 由图 1 和图 2 可看出,2022 年在玉米生育期和近 5 年平均最高气温均发生在 6 月上中旬玉米苗期和 8 月上中旬开花授粉阶段,极端降水均集中在 7-8 月上旬。2022 年 6 月上、中、下旬最高气温较近 5 年平均最高气温分别高 4.40℃、6.52℃、5.44℃,平均气温较近 5 年平均气温分别高 2.87℃、4.39℃、4.66℃,但是 2022 年 6 月上旬和下旬降水量比近 5 年同期减少 11.09mm 和 29.51mm,连续的高温天气和远低于同期的降水量势必会影响到玉米的出苗和苗期玉米的生长发育。7 月份玉米生育期普遍在拔节期至抽雄吐丝期之间,2022 年 7 月上、中、下旬降水量较近 5 年同期降水量分别高 91.23mm、26.83mm、95.85mm。刘成等^[12]研究表明玉米长时间的阴雨天气和涝害会造成玉米脱肥,发育迟缓,使玉米开

花与吐丝时间错开,进而导致玉米无法完成授粉。2022年8月上、中旬最高气温分别较近5年平均最高气温高4.57℃、6.01℃,平均气温也分别较近5年平均气温高3.75℃、5.28℃,降水量分别比近5年同期平均降水量减少33.27mm、46.01mm,此时夏玉米处于开花授粉阶段,极端高温天气会使花粉活力降低,导致玉米结实性差^[13]。2022年8月下旬至9月下旬降水量分别比近5年平均降水量减少22.54mm、19.92mm、42.52mm和30.73mm,这个阶段玉米正处于灌浆阶段,是玉米产量形成的关键时期,干旱少雨会造成玉米灌浆不良,粒重降低,进而影响整体产量^[14]。综上分析可知,相较于近5年,2022年玉米生育期间极端天气更多,给夏玉米生产也造成了更多不利影响。

2.2 新单 58 和高油 899 间作对植株性状和抗倒伏性状的影响 由表 1 可知,新单 58 间作相对于新单 58 单作的玉米株高增加了 4.96%,茎粗增加了 1.15%,穗位高降低了 7.46%,重心高降低了 7.55%,抗弯曲力增加了 10.34%,穿刺强度增加了 11.34%,压碎强度增加了 5.51%,横折强度增加了 5.42%,穗位系数降低了 11.36%,抗倒伏指数增加了 14.09%,其中株高、穗位高、横折强度、穗位系数和抗倒伏指数达到了显著性差异,其他指标均无显著性差异;高油 899 间作相对于高油 899 单作玉米株高基本一致,茎粗增加了 4.59%,穗位高降低了 6.33%,重心高降低了 6.35%,抗弯曲力增加了 13.18%,穿刺强度增加了 9.81%,压碎强度增加了 9.00%,横折强度增加了 9.15%,穗位系数降低了 4.76%,抗倒伏指数增加

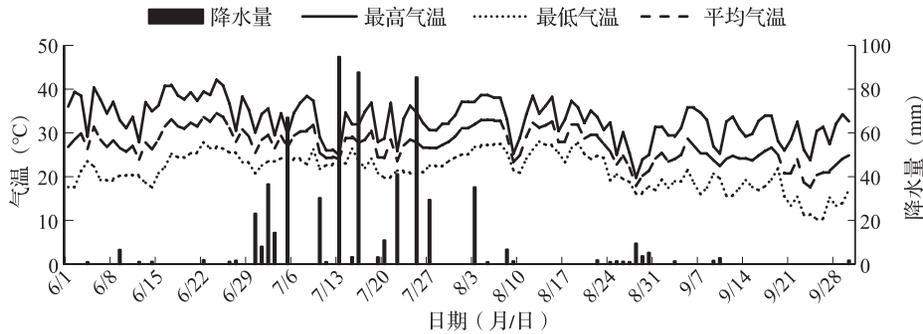


图 1 2022 年 6-9 月玉米生长季的逐日降水量和气温

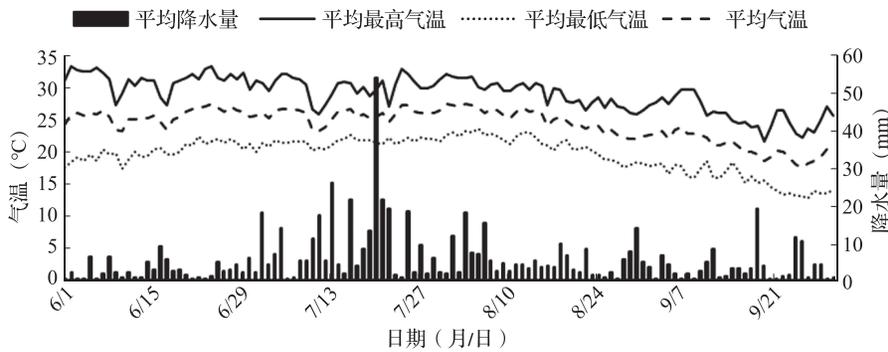


图 2 2018-2022 年 6-9 月玉米生长季近 5 年平均逐日降水量和气温

表 1 新单 58 和高油 899 间作对植株性状和抗倒伏性状的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	穗位高 (cm)	重心高 (cm)	抗弯曲力 (N)	穿刺强度 (N/mm ²)	压碎强度 (N)	横折强度 (N)	穗位 系数	抗倒伏 指数
XD58S	208.33c	26.97a	91.67b	106.00bc	19.05b	57.15b	200.03a	308.03b	0.44a	2.91b
XD58I	218.67b	27.28a	84.83c	98.00c	21.02ab	63.63ab	211.05a	324.73a	0.39b	3.32a
GY899S	236.33a	26.17a	100.17a	110.17a	19.50b	59.33ab	207.67a	306.40b	0.42a	2.78b
GY899I	235.50a	27.37a	93.83b	103.17b	22.07a	65.15a	226.36a	334.43a	0.40b	3.24a

S 代表单作,I 代表间作;同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同

了 16.55%，其中株高、茎粗、穿刺强度和压碎强度未达到显著性差异，其他指标均达到了显著性差异。说明间作能够显著提高新单 58 和高油 899 的抗倒伏能力。

2.3 新单 58 和高油 899 间作对虫害发生的影响

2.3.1 新单 58 和高油 899 间作对关键害虫数量的影响 从表 2 可以看出，玉米主要虫害为桃蛀螟、玉米螟、棉铃虫和玉米蚜。其中，新单 58 间作桃蛀螟和玉米蚜数量显著低于新单 58 单作，玉米螟和棉铃虫数量也低于单作，但差异不显著；高油 899 间作桃蛀螟、玉米螟和玉米蚜显著低于高油 899 单作，只有棉铃虫数量上间作和单作没有显著性差异。

表 2 新单 58 和高油 899 间作对关键害虫数量的影响

处理	桃蛀螟	玉米螟	棉铃虫	玉米蚜
XD58S	14.4a	21.6a	6.0a	1947.6a
XD58I	9.6b	18.0a	4.8a	1664.4b
GY899S	15.6a	25.2a	7.2a	1954.8a
GY899I	10.8b	21.6b	6.0a	1760.4b

表中害虫数量为 30 株玉米上的害虫总数，下同

2.3.2 新单 58 和高油 899 间作对虫害情况的影响

由表 3 可以看出，玉米被虫害危害情况主要有蛀穗孔洞数、被蛀籽粒数、蛀茎孔洞数和穗上部茎秆折断数。其中，新单 58 间作蛀穗孔洞数、被蛀籽粒数和蛀茎孔洞数显著低于新单 58 单作，穗上部茎秆折断数间作和单作没有显著性差异；高油 899 间作蛀穗孔洞数和蛀茎孔洞数显著低于高油 899 单作，被蛀籽粒数和穗上部茎秆折断数上间作和单作没有显著性差异。

表 3 新单 58 和高油 899 间作对虫害情况的影响

处理	蛀穗孔洞数	被蛀籽粒数	蛀茎孔洞数	穗上部茎秆折断数
XD58S	18.0a	115.2a	16.8a	8.4a
XD58I	14.4b	93.6b	12.0b	6.0a
GY899S	20.4a	136.8a	20.4a	10.8a
GY899I	16.8b	122.4a	16.2b	9.6a

2.4 新单 58 和高油 899 间作对产量及产量构成要素的影响 新单 58 和高油 899 间作较单作均能够增加玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重和产量（表 4）。新单 58 间作比单作穗长增加了 6.80%，穗粗增加了 3.01%，穗粒数增加了 16.48%，百粒重增

加了 4.88%，其中，穗长、穗粒数、百粒重差异达到了显著性水平，穗粗差异不显著；高油 899 间作比单作穗长增加了 13.33%，穗粗增加了 3.04%，穗粒数增加了 25.95%，百粒重增加了 3.72%，同样，穗长、穗粒数、百粒重差异达到了显著性水平，穗粗差异不显著。新单 58 和高油 899 间作的单位面积产量较新单 58 单作和高油 899 单作分别显著增加了 14.59% 和 5.19%，说明了间作优势明显。

表 4 新单 58 和高油 899 间作对产量及产量构成要素的影响

处理	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗粒数	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
XD58S	15.59c	4.32a	476.93b	30.53c	7034.65b
XD58I	16.65b	4.45a	555.52a	32.02b	3985.80c
GY899S	15.98c	4.28a	375.69c	31.74b	7662.85ab
GY899I	18.11a	4.41a	473.19b	32.92a	4074.90c
XD58I+GY899I	-	-	-	-	8060.70a

2.5 新单 58 和高油 899 间作下的土地当量比 偏土地当量比是衡量间作是否具有产量优势的一个重要指标，当偏土地当量比大于间作物播种面积占比时，说明该作物具有间作产量优势，新单 58 和高油 899 间作体系中，新单 58 的偏土地当量比为 0.57，高油 899 的偏土地当量比为 0.53（表 5），二者的偏土地当量比均大于二者间作播种面积占比，说明这两个玉米品种都具有间作产量优势。此外，新单 58 和高油 899 间作体系内土地当量比为 1.10（表 5），土地当量比大于 1，说明二者具有明显的间作优势，并且二者间作的增产率达到了 10%。

表 5 新单 58 和高油 899 间作下的土地当量比

种植模式	单位面积产量 (kg/hm ²)		偏土地当量比 (PLER)		土地当量比 (LER)
	XD58	GY899	XD58	GY899	
单位	6034.65a	6662.85a	-	-	-
间作	3985.80b	4074.90b	0.57	0.53	1.10

2.6 新单 58 和高油 899 间作对籽粒油分的影响

由图 3 可知，新单 58 和高油 899 间作相较于二者单作均能够提高籽粒中的油分。其中，新单 58 间作比单作油分显著提高了 17.96%，高油 899 间作与单作油分无显著性差异。说明普通玉米新单 58 与特种玉米高油 899 间作，可以显著提高新单 58 的油分。

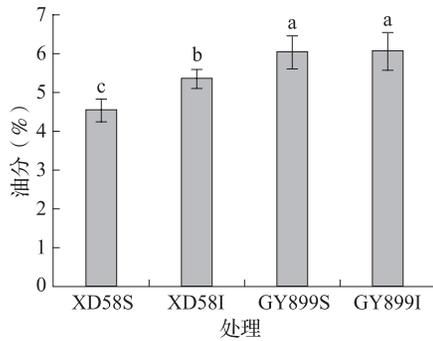


图3 不同基因型玉米间作对籽粒油分的影响

3 讨论与结论

3.1 讨论 玉米的产量和品质不仅与栽培措施有关,同时也受到天气的影响^[15]。因此在玉米生产上构建适宜的种植体系,在当年遭受极端不利天气时,能够有效缓解极端不利天气带来的负面效应,降低农业生产上的损失^[16]。在全球气候变暖和极端天气频繁出现的大背景下,夏玉米生育期内极端降水和极端高温频繁发生,通过探索和选择合理适宜的种植模式与栽培措施来应对不同类型的极端不利天气具有重要的现实意义^[17]。

玉米的抗倒伏能力不仅与玉米的株高、茎粗、穗位高和重心高等植株性状有关,还与玉米茎秆的抗弯曲力、地上部第3伸长茎节的穿刺强度、压碎强度和横折强度密切相关^[18]。不同基因型玉米合理间作,不仅能够增强玉米的群体光合特性,而且能优化玉米群体结构、增强玉米的群体抗逆能力^[19]。刘天学等^[20]试验研究表明,合理的间作复合群体后期抗逆能力明显提高,玉米倒伏率降低,抗倒伏能力增强;赵亚丽等^[21]研究发现,风灾后抗倒性差的玉米品种浚单20与登海662间作能够显著降低浚单20的倒伏率。本试验研究发现,2022年玉米生育期内遭遇极端暴风雨天气,新单58与高油899间作相比二者单作能够提高茎粗、抗弯曲力、穿刺强度、压碎强度、横折强度和抗倒伏指数,降低穗位高、重心高和穗位系数,因此提高了玉米植株的抗倒伏能力,这与前人关于灾后玉米倒伏率的研究结果一致。

虫害的发生严重影响玉米的产量和品质^[22]。李潮海等^[19]研究表明,合理间作的复合群体后期抗逆能力明显提高,其抗病虫能力增强。苏新宏^[23]研究发现,抗虫性不同的玉米品种构成的复合群体

抗蚜虫能力显著提高。本试验发现,新单58与高油899间作相比二者单作能够减少关键玉米害虫数量,进而减轻玉米穗部和茎秆的虫害危害程度,但是关于二者间作害虫数量降低的具体原理和机制还需要进一步研究。

玉米产量的增加取决于百粒重和穗粒数的提高^[24]。史振声等^[25]研究发现,不同基因型玉米的合理间作具有显著的增产效果,穗粒数增加的幅度最大,其次是百粒重的增加。刘天学等^[26]试验结果表明,将株型互补的玉米间作,可显著增加复合群体的产量,提高土地当量比。宋同明^[10]研究发现普通玉米与高油玉米间作,花粉直感对二者油分都有较大的提高。本试验研究发现,新单58和高油899间作与二者单作相比能够显著增加玉米穗粒数和百粒重,单位面积间作产量之和均高于单位面积二者单作产量;并且土地当量比大于1,说明二者具有明显的间作优势;两品种间交叉授粉所产生的花粉直感使新单58油分显著提高。

3.2 结论 间作可以增强作物群体应对极端环境的能力,提高群体生产的稳定性和丰产性。新单58和高油899间作能提高两者的抗倒伏能力,减轻了虫害危害,增加了产量,提升了玉米籽粒油分,有利于实现玉米丰产稳产和粮油一体化生产。

参考文献

- [1] 徐蔚. 玉米茎粗 QTL 定位与遗传分析. 成都: 四川农业大学, 2014
- [2] 邵靖宜, 李小凡, 于维祯, 刘鹏, 赵斌, 张吉旺, 任佰朝. 高温干旱复合胁迫对夏玉米产量和茎秆显微结构的影响. 中国农业科学, 2021, 54 (17): 3623-3631
- [3] 郑雅丽. 玉米常见病虫害防治技术. 世界热带农业信息, 2023 (4): 45-47
- [4] 卢鹏, 朱先敏, 张芳, 杨荣明. 江苏省近 5 年玉米病虫害发生特点及原因分析. 中国植保导刊, 2018, 38 (12): 41-44
- [5] 王林, 王琦, 张恩和, 刘青林, 俞华林. 间作与施氮对秸秆覆盖作物生产力和水分利用效率的影响. 中国生态农业学报, 2014, 22 (8): 955-964
- [6] Braconnier S. Maize-coconut intercropping : effects of shade and root competition on maize growth and yield. Agronomie, 1998, 18 (5-6): 373-382
- [7] 史振声, 张喜华, 李凤海, 王志彬, 王宏伟. 不同玉米品种间、混种植栽培的技术探讨. 玉米科学, 2006, 14 (4): 111-113
- [8] 张三坤, 陈文平. 玉米间混作增产又减灾. 河南农业, 2005 (6): 26
- [9] 王永宏, 沈强云, 刘萍, 宋同明. 高油玉米与普通玉米混种应用效益的评价. 玉米科学, 2003, 11 (4): 50-52

- [10] 宋同明. 雄花不育, 单交种再杂交, 花粉直感与高产优质高油玉米生产 // 王连铮, 戴景瑞. 全国作物育种学术讨论会论文集. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [11] Mead R, Willey R W. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 1980, 16 (3): 217-228
- [12] 刘成, 申海兵, 石云素, 宋燕春, 王天宇, 黎裕. 水分胁迫后玉米雌雄穗开花间隔时间(ASI)与产量和抗旱性的关系研究. *新疆农业科学*, 2008, 45 (4): 609-612
- [13] 王登琪, 郭文孝, 卫金燕, 赵新礼. 夏玉米生育期间农业气候条件对玉米的影响. *陕西农业科学*, 2011, 57 (5): 121-122
- [14] 贾钰莹, 刘欣芳, 刘晓丽, 齐欣, 马骏, 张敏, 王延波, 叶雨盛. 辽宁省玉米品种耐旱性评价及耐旱指标鉴定. *种子*, 2020, 39 (8): 131-136
- [15] 孙新素, 龙致炜, 宋广鹏, 陈长青. 气候变化对黄淮海地区夏玉米-冬小麦种植模式和产量的影响. *中国农业科学*, 2017, 50 (13): 2476-2487
- [16] Zhang L, Zhang Z, Luo Y, Cao J, Li Z. Optimizing genotype-environment management interactions for maize farmers to adapt to climate change in different agro-ecological zones across China. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138614
- [17] Rising J, Devineni N. Crop switching reduces agricultural losses from climate change in the United States by half under RCP 8.5. *Nature Communications*, 2020, 11 (1): 4991-4991
- [18] 刘志铭, 盖旭东, 李宝玉, 兰天娇, 孙宝龙, 吕艳杰. 化控对高密度春玉米抗倒伏能力及产量的影响. *东北农业科学*, 2019, 44 (6): 1-5
- [19] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应. *生态学报*, 2002, 22 (12): 2096-2103
- [20] 刘天学, 赵亚丽, 王群, 栾建峰, 李潮海. 双基因型间混作提高玉米群体抗逆性 // 中国作物学会. 第十三届全国玉米栽培学术研讨会论文集. 北京: 中国作物学会, 2013
- [21] 赵亚丽, 康杰, 刘天学, 李潮海. 不同基因型玉米间混作优势带型配置. *生态学报*, 2013, 33 (12): 3855-3864
- [22] 李琴理, 石洁, 何康来, 王振营. 化学防控玉米蛀穗害虫对减轻拟轮枝镰孢穗腐病及伏马毒素的作用. *中国农业科学*, 2021, 54 (17): 3702-3711
- [23] 苏新宏. 不同基因型玉米间作效应研究. 郑州: 河南农业大学, 2001
- [24] 倪大鹏, 刘强, 阴卫军, 韩金龙, 朱彦威, 王同燕, 阴才. 施钾时期和施钾量对玉米产量形成的影响. *山东农业科学*, 2007 (4): 82-83
- [25] 史振声, 朱敏, 李凤海, 王志彬. 玉米不同品种间作的增产效果研究. *玉米科学*, 2008, 16 (2): 107-109
- [26] 刘天学, 李潮海, 马新明, 赵霞, 刘士英. 不同基因型玉米间作对叶片衰老、籽粒产量和品质的影响. *植物生态学报*, 2008, 32 (4): 914-921

(收稿日期: 2023-07-21)

(上接第60页)

- [2] 李辉尚, 胡晨沛, 曲春红. 中国小麦主产区生产效率时空演变特征分析. *中国农业资源与区划*, 2018, 39 (10): 91-99
- [3] 汪娟梅, 张睿, 田永平, 武明安, 王涛, 王小云, 王楠. 播期播量对小麦中麦 895 产量和品质的影响. *麦类作物学报*, 2020, 40 (11): 1375-1381
- [4] 李素真, 周爱莲, 王霖, 王秋云, 孙雷鸣, 赵凯. 不同播期播量对不同类型超级小麦产量构成因子的影响. *山东农业科学*, 2005 (5): 12-15
- [5] 吕广德, 殷复伟, 孙盈盈, 钱兆国, 徐加利, 李宁, 薛丽娜, 吴科. 不同播种量对临麦 4 号产量和干物质积累及分配的影响. *作物杂志*, 2020 (3): 142-148
- [6] 荆奇, 戴廷波, 姜东, 曹卫星, 孙传范. 不同生态条件下不同基因型小麦干物质和氮素积累与分配特征. *南京农业大学学报*, 2004, 27 (1): 1-5
- [7] 李朝霞, 赵世杰, 孟庆伟, 邹琦. 高粒叶比小麦群体生理基础研究进展. *麦类作物学报*, 2002, 22 (4): 79-83
- [8] 刘萍, 魏建军, 张东升, 王宝驹, 刘军, 刘建国. 播期和播量对滴灌冬小麦群体性状及产量的影响. *麦类作物学报*, 2013, 33 (6): 1202-1207
- [9] 李春喜, 石惠恩, 姜丽娜. 小麦不同种植密度粒重分布特性的研究. *西北植物学报*, 1999, 19 (1): 132-137
- [10] 杨卫君, 贾永红, 石书兵, 王春华. 播期和密度对春小麦品种新春 26 号生长及产量的影响. *麦类作物学报*, 2016, 36 (7): 913-918
- [11] 王成雨, 代兴龙, 石玉华, 王振林, 陈晓光, 贺明荣. 氮肥水平和种植密度对冬小麦茎秆抗倒性能的影响. *作物学报*, 2012, 38 (1): 121-128
- [12] 高聚林, 刘克礼, 张永平, 张铁山, 刘瑞香, 白立华, 刘凯. 不同农艺措施对春小麦群体干物质积累的影响. *麦类作物学报*, 2003, 23 (3): 79-84
- [13] 郭文善, 封超年. 小麦开花后源库关系分析. *作物学报*, 1995, 21 (3): 334-340
- [14] 卢殿君, 陈新平, 张福锁, 崔振岭, 贺明荣, 王振林. 花后营养调控对冬小麦灌浆期物质生产、氮素吸收及再运移的影响. *中国农学通报*, 2013, 29 (9): 57-60
- [15] 杨亚洲, 赵延勃, 张保亮. 不同播量对周麦 32 号小麦产量及产量构成因素的影响. *现代农业科技*, 2018 (23): 29, 35
- [16] 张胜全, 陈兆波, 王拯, 任立平, 高新欢, 叶志杰, 张风廷. 二系杂交小麦群体结构与产量构成分析. *作物杂志*, 2017 (6): 45-49
- [17] 田中伟, 王方瑞, 戴廷波, 蔡剑, 姜东, 曹卫星. 小麦品种改良过程中物质积累转运特性与产量的关系. *中国农业科学*, 2012, 45 (4): 801-808
- [18] 马建辉, 张利霞, 姜丽娜, 王亚帆, 齐冰玉, 李春喜. 氮肥和密度对冬小麦光合生理和物质积累的影响. *麦类作物学报*, 2015, 35 (5): 674-680

(收稿日期: 2023-07-25)