

不同夏玉米品种产量和氮肥利用的水氮调控效应

张美微, 刘京宝, 李 川, 黄 璐, 张盼盼, 李 萍, 牛 军,
郭国俊, 陈京仑, 宇 婷, 乔江方

(河南省农业科学院粮食作物研究所, 郑州 450002)

摘 要: 研究不同水氮处理对 20 个夏玉米品种产量及其构成、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率的影响。结果表明, 品种、灌水和氮肥对产量性状、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率均有显著影响, 灌水对产量及其构成、收获指数和干物质积累量的影响大于品种和氮肥, 氮肥对氮肥农学利用效率的影响最大。夏玉米品种在产量及其构成、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率方面均存在差异, 氮肥农学利用效率在品种间的变异系数最大。灌水处理显著增加夏玉米产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率, 氮肥施用显著提高夏玉米产量和干物质积累量, 降低氮肥农学利用效率, 不同处理间无显著差异。综合灌水和氮肥对夏玉米产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率的影响, 在总施氮量为 150 kg/hm², 分别在大喇叭口期和吐丝期按 75 mm 灌溉量进行灌溉可获得最佳产量和氮肥农学利用效率。

关键词: 夏玉米; 品种; 水氮调控; 产量; 干物质积累量; 氮肥农学利用效率

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Regulation Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Yield and Nitrogen Utilization for Summer Maize Cultivars with Different Genotypes

ZHANG Mei-wei, LIU Jing-bao, LI Chuan, HUANG Lu, ZHANG Pan-pan, LI Ping, NIU Jun,
GUO Guo-jun, CHEN Jing-lun, YU Ting, QIAO Jiang-fang

(The Cereal Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The objective of this study was to study the effect of different irrigation and nitrogen (N) fertilizer treatments on yield characteristics and nitrogen utilization for twenty summer maize cultivars in Huang-Huai-Hai region. The result showed that there was the significant influence of cultivar, irrigation and N fertilizer treatment on yield and its components, dry matter accumulation, harvest index and agronomic efficiency of applied N. The effect of irrigation on yield and its components, dry matter accumulation, harvest index was greater than that of cultivar and N fertilizer, while N fertilizer had the most significant influence on the agronomic efficiency of applied N in all the factors. There were significant differences in all indexes among the three categories cultivars. The highest variable coefficient was found in the agronomic efficiency of applied N among all cultivars. Irrigation of W1 treatment increased yield, dry matter accumulation, harvest index, and agronomic efficiency of applied N. And N fertilizer applied also improved yield and dry matter accumulation, while decreased agronomic efficiency of applied N. There was no significant influence between N1 and N2 treatment. Considering both yield and agronomic efficiency of applied N, the treatment of W1N1, which applied N fertilizer with 150 kg N/ha and irrigated twice at flare opening and spinning stages with 75 mm precipitation was appropriate in Huang-Huai-Hai summer maize area.

Key words: Summer maize; Cultivar; Irrigation and nitrogen regulation; Yield; Dry matter accumulation; Agronomic efficiency of applied nitrogen

录用日期: 2019-04-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD030110, 2017YFD0300407, 2018YFD0300702, 2018YFD0200605)、国家自然科学基金项目(31701368)

作者简介: 张美微(1986-), 女, 河南林州人, 助理研究员, 博士, 主要从事玉米栽培生理研究。E-mail: zhangmeiwei1986@163.com

乔江方为本文通讯作者。E-mail: qiaojf@126.com

水肥资源是影响作物产量的主要限制因子,合理的水肥耦合是发展作物高效栽培的重要手段。夏玉米生育期总需水量一般在 350~551 mm,其产量随年总降水量和生育期降水量呈先增加后降低的趋势^[1,2]。土壤干旱对玉米植株形态、物质积累、器官发育等方面均会造成不同程度的影响,最终降低穗粒数、粒重,导致产量下降^[3]。夏玉米拔节后,特别是抽雄至吐丝期受土壤干旱的胁迫最严重^[4]。氮素作为作物生理代谢过程中需求量最大的营养元素,对夏玉米的生长发育起重要的促进作用,但过量施用氮肥造成的农田水体污染和低氮肥利用效率已经成为限制农业可持续发展的重要因素^[5~7]。合理的水肥措施能够促进作物生长,提高产量,两个因子的相互协同有助于节水节肥,提高氮肥利用效率。

黄淮海区域是我国夏玉米的重要主产区之一,其种植面积和产量均占全国 30% 左右^[8,9],年降水量在 500~900 mm^[10]。该地区夏玉米生育期虽处降雨高峰期,但夏季气温高、蒸发量大,加之降雨分布不均、降雨量变化大等因素,时常造成干旱发生^[11]。在农业生产中该地区存在灌溉水资源缺乏和灌溉不合理的现象,灌溉水利用效率仅为 45% 左右,远低于节水国家的 70%~80%^[12]。同时,农民为追求高产氮肥过量施用的现象普遍存在,华北地区年平均施氮量高达 550 kg/hm²,夏玉米氮肥利用效率仅为 26%

左右^[13,14]。因此,如何“以水促肥、以肥调水”,使夏玉米在有限的水肥资源条件下,发挥最大产量潜力是当前农业生产中面临的重要问题。因此,本研究以黄淮海地区 2000 年以来大面积推广种植的 20 个夏玉米品种为材料,开展不同水氮措施对夏玉米产量及其构成、干物质积累、收获指数和氮肥农学利用效率等方面影响的研究,探讨不同夏玉米品种对水氮措施的响应特征,为黄淮海地区夏玉米高产高效生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年在河南省农业科学院河南现代农业研究开发基地(北纬 N35°0′16.03″,东经 E 113°42′6.60″)进行。土壤类型为沙壤土,0~30 cm 土层土壤 pH 值为 8.78,有机质 0.36 g/kg,全氮 0.42 g/kg,速效氮 49.13 mg/kg,速效磷 51.8 mg/kg,速效钾 151.56 mg/kg。试验地属于暖温带大陆性季风气候,夏玉米生育期降雨量和气温见图 1。夏玉米生育期内总降水量为 325.4 mm,前期降雨量较少,6 月份和 7 月份的降雨量为 116.7 mm,占总降雨量的 35.9%;中后期(8 月和 9 月)的降雨量为 208.7 mm,占总降雨量的 64.1%。

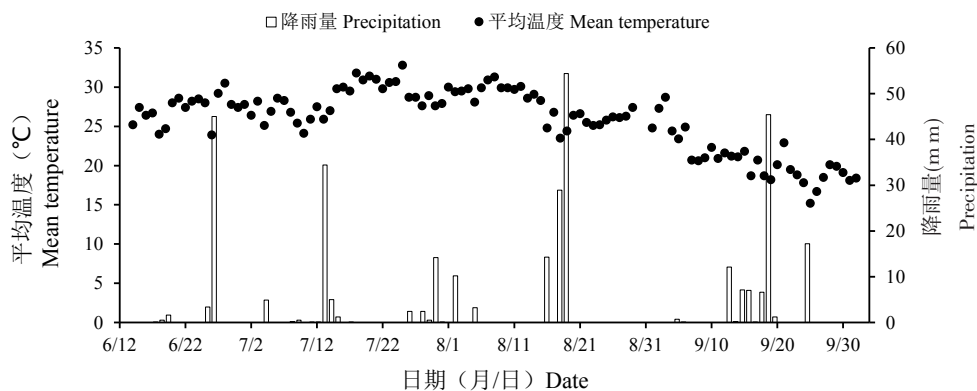


图1 玉米生育期内的日平均气温和降雨量

Fig.1 Temporal variations of air mean temperature and precipitation during maize growth periods

1.2 试验设计

以近年来黄淮海地区广泛推广种植的 20 个夏玉米品种为材料(表 1),大田试验采取裂区设计,主区为灌水处理,设 2 个水平,分别为自然降雨(W0)和灌水处理(W1);副区为氮肥处理,设 3 个水平,不施肥(N0)、低氮水平(150 kg/hm²,N1)、正常施氮(225 kg/hm²,N2)。各品种均采取统一播量 67 500 株/hm²,行距 60 cm,株距 24.7 cm,4 行区,行长 5 m,3 次重复。为

防止处理间水肥渗透漂移,在不同灌水处理之间起垄(高 30 cm),垄两侧各种植两行玉米进行隔离;不同施肥处理间设置 1.2 m 隔离带种植两行玉米进行隔离,且隔离带不施肥。施肥采用开沟施肥方式,基肥施用氮磷钾(14-16-15)复合肥,追肥在拔节期按照 1:1 的基追比采用尿素(含 N46%)施入。不施氮和低氮水平磷肥和钾肥分别采用过磷酸钙(P₂O₅)和氯化钾(K₂O)进行补施,以保证各处理磷钾肥一致。灌

水方式为微喷带喷淋,采用水表控制灌水量。为保证出苗,大田试验于播种后统一进行灌溉,灌水量为60 mm。灌水处理分别在大喇叭口期(7月26日)和吐丝散粉期(8月10日)按照75 mm灌水量进行灌溉,

自然降雨处理未进行灌溉。各夏玉米品种于2018年6月14日进行播种,10月2日收获。除施肥和灌水措施,其他田间栽培管理措施同一般高产田一致。

表1 试验用黄淮海主推夏玉米品种
Table 1 Cultivar of summer maize for Huang-Huai-Hai region in the experiment

品 种			品 种		
Cultivar			Cultivar		
夏播生育期(d)			夏播生育期(d)		
Growth period			Growth period		
郑单 958	ZD958	96	迪卡 653	DK653	98 ~ 105
先玉 335	XY335	98	裕丰 303	YF303	102
奥玉 3111	AY3111	98	郑单 1102	ZD1102	103
浚单 29	XD29	97	联创 825	LC825	104
德单 5 号	DD5	98	迪卡 517	DK517	103
伟科 702	WK702	97 ~ 101	新单 68	XD68	103 ~ 106
桥玉 8 号	QY8	96 ~ 98	秋乐 368	QL368	103
豫安 3 号	YA3	98 ~ 101	中科玉 505	ZKY505	103
郑单 1002	ZD1002	99 ~ 103	郑单 309	ZD309	102 ~ 104
农大 372	ND372	103	浚单 509	XD509	102

1.3 测定项目与方法

在夏玉米成熟期,各小区选取具有代表性植株3株,取地上部分样品测定干物质积累。样品于105℃杀青30 min,后80℃进行烘干至恒重,根据种植密度折算单位面积干物质积累量。

每个小区选取长势均匀一致的夏玉米植株20株,全部收获晾晒脱粒。水分测定仪测定子粒含水量后,按照14%含水量折算单位面积产量,千粒重同样按照14%含水量进行折算。从各点收获的玉米果穗中选取均匀一致有代表性的10穗,对穗长、秃尖长、穗粗、穗行数、行粒数等指标考种。

收获指数=子粒产量/成熟期植株地上部干物质积累量×100%;

氮肥农学利用效率=(施氮处理产量-未施氮处理产量)/施氮量。

1.4 数据处理与分析

采用SPSS 20进行数据分析和方差处理,不同水氮处理间差异显著性分析采用邓肯(Dun-can)多重比较进行,柱形图使用Excel 2013软件完成。

2 结果与分析

2.1 夏玉米产量性状和氮肥利用效率的变异来源分析

为明确灌水和施氮处理对不同夏玉米品种各产量性状和氮肥利用效率的影响,对各性状指标进行方差分析(表2)。从表2中可以看出,品种、灌水和氮

肥对夏玉米穗粒数、千粒重、产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率均有显著的影响,灌水和氮肥互作仅对穗粒数和氮肥农学利用效率的影响达到显著水平。在各因子中,灌水对穗粒数、千粒重、产量、干物质积累量和收获指数的影响大于品种和氮肥产生的影响,其均方占总均方的比例高达60.99%~92.36%;除千粒重和收获指数受品种的影响大于氮肥外,穗粒数、产量和干物质积累量均表现为氮肥大于品种。氮肥对氮肥农学利用效率的影响最大,占总均方的53.19%,且灌水×氮肥互作效应大于灌水和品种效应。对于黄淮海区域的20个夏玉米品种而言,灌水处理是影响产量各性状的首要因素,氮肥对氮肥农学利用效率有重要的影响。

2.2 夏玉米产量性状和氮肥利用效率的品种间差异分析

以产量为依据将20个夏玉米品种进行分类,以明确不同类型夏玉米品种产量和干物质积累的差异及其对不同水氮处理的响应特征。对各夏玉米品种在不同水氮条件下的产量取平均值,进行聚类分析(图2)。从聚类分析树状图中可以看出,当欧氏距离为10时,20个夏玉米品种可分为3类,高产型(I)、中产型(II)和低产型(III)。其中,I型夏品种最少,占5%;II型夏玉米品种最多,占65%;III夏玉米品种占30%。从表3中可以看出,20个夏玉米品种在不同水氮处理下的穗粒数、千粒重、产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率的平均值分别为

481.37 粒、313.00 g、10.17 t/hm²、19.33 t/hm²、46.30% 和 7.10 kg/kg,且在不同类型品种间差异显著;各指标品种间变异系数以氮肥农学利用效率最高,为 24.37%。高产型夏玉米品在产量、干物质积累量、收获指数方面分别比中、低产夏玉米品种高 11.83%、2.45%、8.63%和 26.84%、15.08%、9.65%;氮肥农学利用效率以中产型夏玉米品种最高,分别比高、低产型夏玉米品种高 6.95%和 22.40%。

表2 不同夏玉米品种产量性状对水氮响应的方差分析
Table 2 Variance analysis of yield components of 20 maize cultivars with irrigation and N fertilizer

变异来源	穗粒数	千粒重	产 量	干物质积累量	收获指数	氮肥农学利用效率
Source	Kernels per spike	1000-kernels weight	Yield	Dry matter accumulation	Harvest index	Agronomic efficiency of N fertilizer
品种	4.08**	4.68**	1.34**	3.75**	10.77**	16.83*
灌水	60.99**	92.36**	83.52**	73.67**	80.04**	4.53
氮肥	32.89**	2.67**	14.95**	22.14**	7.22*	53.19**
灌水×氮肥	2.04**	0.30	0.19	0.45	1.97	25.44*

注:表中数据为各因子均方占总均方的比例(%)*和**表示差异分别达到0.05和0.01显著水平。
Note: Data in the table was the percentage of total mean square.* and ** represented significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

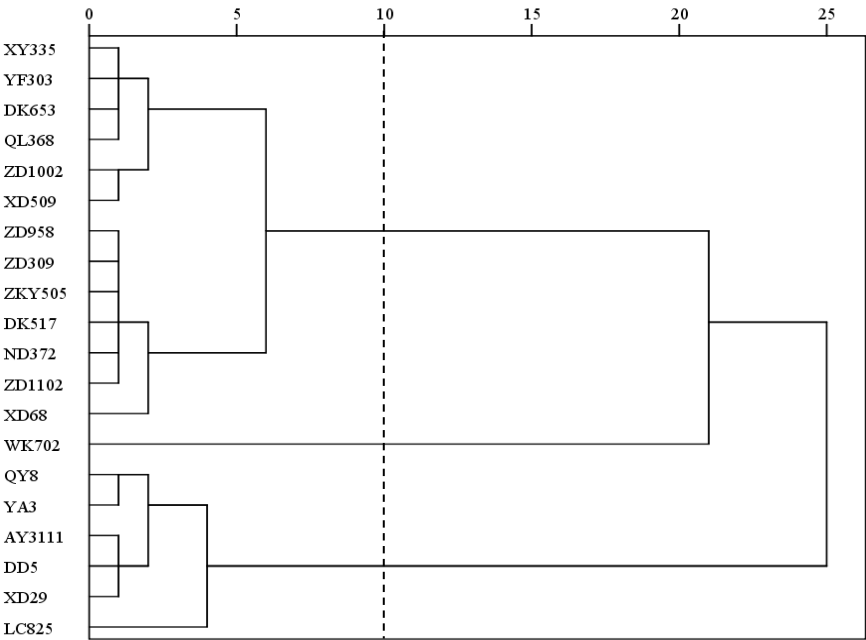


图2 20个夏玉米品种的产量聚类分析图
Fig.2 Cluster analysis of yield for 20 summer maize cultivars

表3 不同水氮耦合处理下夏玉米品种子粒产量性状
Table 3 Yield components of 20 summer maize cultivars with different irrigation and nitrogen fertilizer treatments

品种分类	穗粒数(粒)	千粒重(g)	产量(t/hm ²)	干物质积累量	收获指数(%)	氮肥农学利用效率
Cultivar classification	Kernels per spike	1 000-kernels weight	Yield	(t/hm ²) Dry matter accumulation	Harvest index	(kg/kg) Agronomic efficiency of applied N
I WK702	552.09 a	313.37 a	11.72 a	20.45 a	50.22 a	7.05 a
II ZD958 XY335 ZD1002 ND372	481.32 b	322.77 a	10.48 b	19.96 a	46.23 b	7.54 a
DK653 YF303 ZD1102 DK517						
XD68 QL368 ZKY505 ZD309						
XD509						

续表3 Continued 3

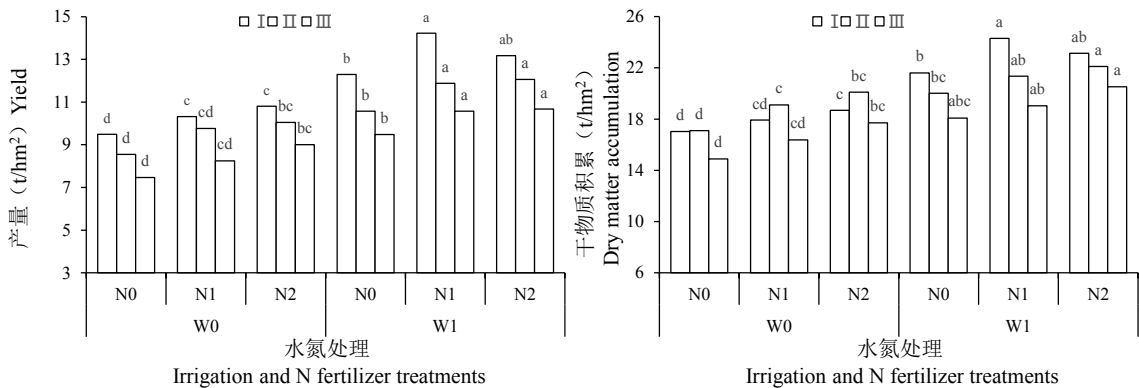
品种分类	穗粒数(粒)	千粒重(g)	产量(t/hm ²)	干物质积累量	收获指数(%)	氮肥农学利用效率
Cultivar classification	Kernels per spike	1 000-kernels weight	Yield	(t/hm ²) Dry matter accumulation	Harvest index	(kg/kg) Agronomic efficiency of applied N
Ⅲ AY3111 XD29 DD5 QY8	469.67 b	291.78 b	9.24 c	17.77 b	45.80 b	6.16 a
YA3 LC825						
均 值	481.37	313.00	10.17	19.33	46.30	7.10
极小值	426.85	276.49	8.79	16.13	40.16	3.58
极大值	552.09	359.39	11.72	22.17	50.62	10.43
变异系数(%)	6.57	7.40	7.24	7.85	6.21	24.37

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。
Note: Values followed by different lowercase letters in a column indicated significant different at the 0.05 probability level.

2.3 不同水氮处理对夏玉米品种产量性状和氮肥利用效率的影响

不同水氮处理对夏玉米产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率均有显著的影响。图3表明,W1的产量和干物质积累量均显著高于W0处理,灌水条件下I、Ⅱ、Ⅲ型夏玉米产量和干物质积累量较不灌水处理分别增加29.71%和28.69%、21.72%和12.73%、24.28%和17.73%,以Ⅱ型夏玉米品种产量增幅最小,说明灌水处理对中产型夏玉米品种的产量影响最小。在W0和W1处理下,施用氮肥均显

著增加了夏玉米产量和干物质积累量,N1和N2处理间无显著差异,各类夏玉米品种表现一致。I、Ⅱ、Ⅲ型夏玉米品种在N1和N2处理下的产量分别较N0处理增加8.81%和13.86%、14.23%和17.49%、10.43%和20.59%(W0),15.72%和7.17%、12.44%和14.12%、11.56%和12.61%(W1);相应的干物质积累量的增加比例为5.20%和9.72%、11.67%和17.52%、9.97%和18.86%(W0),12.50%和7.13%、6.67%和10.47%、5.29%和13.47%(W1)。



注:柱上不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。下图同。
Note: Different lowercase letters above the bars indicated significant at the 0.05 probability level. The same below.

图3 不同灌水和氮肥对夏玉米产量和干物质积累量的影响

Fig.3 Effects of irrigation and N fertilizer application on grain yield and dry matter accumulation of summer

水氮处理对夏玉米收获指数和氮肥农学利用效率有显著的影响(图4)。不同水分处理间,W1条件下I、Ⅱ、Ⅲ型夏玉米品种的收获指数和氮肥农学利用效率较W0处理分别增加0.80%、7.28%、6.88%和47.23%、4.11%、4.90%。3类夏玉米品种的收获指数在不同氮肥处理间的变化均未达显著水平。3类夏玉米品种的氮肥农学利用效率在W1条件下的不同

氮肥处理间存在显著差异,且均以W1N1处理下最高;3类夏玉米品种氮肥农学利用效率较W1N2处理平均增加82.70%。综合灌水和氮肥对夏玉米产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率的影响。W1N1处理为最佳水氮处理,总施氮量为150 kg/hm²,分别在大喇叭口期和吐丝期按75 mm灌溉量进行灌溉。

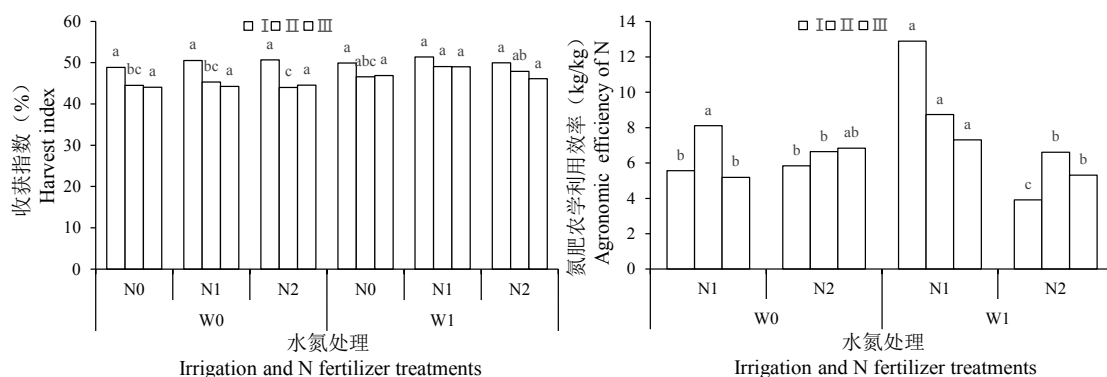


图4 夏玉米收获指数和氮肥农学利用效率对不同灌水和氮肥处理的响应

Fig.4 Response of the maize harvest index and agronomic efficiency of N fertilizer to irrigation and N fertilizer treatments

3 结论与讨论

灌水和施用氮肥是作物获得高产的两个关键管理措施。在农业生产中,往往存在盲目追求高产而对水氮资源过量投入的现象,不仅造成水氮资源浪费,还导致地下水污染、 N_2O 排放量增大、土壤酸化等一系列环境污染^[15-18]。因此,明确当前夏玉米品种对水氮资源的响应特征,合理的水氮管理措施至关重要。本研究通过对不同水氮处理下20个夏玉米品种的产量和干物质积累量进行方差分析得出,各因子对产量性状和干物质积累量均有显著影响,其中,灌水对夏玉米产量及其构成、干物质积累量和收获指数的影响大于品种和氮肥,说明水分缺乏对作物生长发育和产量的影响明显大于其他环境因素^[19];氮肥对氮肥农学利用效率的影响起主导作用。

本研究通过聚类分析将20个夏玉米品种分为3类;高产型占5%,中产型占65%,低产型占30%。其中,高产型夏玉米品种在产量及其构成、干物质积累和收获指数方面均显著高于其他两种类型夏玉米品种,中产型夏玉米品种的氮肥农学利用效率分别比高、低产型夏玉米品种高6.95%和22.40%,说明在农业生产中中产型夏玉米品种在保障稳产前提下,可同时获得较高的氮肥农学利用效率。前人研究显示,不同夏玉米品种的氮肥利用效率存在显著差异^[20],本研究通过比较不同产量性状夏玉米品种间的变异系数也发现,氮肥农学效率在品种间的变异最大,是其他指标的3.10~3.92倍,说明选育和筛选氮肥高效利用的夏玉米品种意义重大^[21],同时也是提高夏玉米氮肥利用效率的有效方法。

水分和氮肥是保障和提升夏玉米产量的两个重要因素。土壤干旱会严重影响夏玉米穗部性状,造

成减产^[22]。黄淮海地区水资源紧缺,合理的灌溉和施肥是实现资源高效利用的有效方法。研究表明,黄淮海地区夏玉米产量达10 500~12 000 kg/hm²时,需水量为350~400 mm^[23]。该地区夏玉米生育期降雨分布不均,蒸发量大,自然降水并不能满足其生长发育的需求^[24]。本研究表明,3类夏玉米在灌水处理W1下的产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率均显著高于不灌水处理W0,分别平均增加25.24%、19.72%、4.99%和18.75%。氮肥施用能够显著促进夏玉米生长发育,提高产量,而过量施用抑制产量的进一步增加^[25]。本研究表明,无论灌水与否,施用氮肥均显著增加夏玉米产量和干物质积累量,N1和N2处理间无显著差异;收获指数在不同氮肥处理间无显著差异;正常施氮N2处理较低氮水平N1处理显著降低夏玉米氮肥农学利用效率。在一定范围内,氮肥效应与土壤水分含量呈正相关,适宜的水肥条件能够增强水分和养分的供给能力,提高产量^[26,27]。有研究表明,当夏玉米田间持水量维持在75%左右时,氮肥可减施1/3^[28]。本研究综合灌水和氮肥对夏玉米产量、干物质积累量、收获指数和氮肥农学利用效率的影响,在总施氮量为150 kg/hm²,分别在大喇叭口期和吐丝期按75 mm灌溉量进行灌溉的水氮措施可获得最佳的产量和氮肥农学利用效率。因此,在黄淮海平原,适量的氮肥减施和合理的灌溉相结合,可使夏玉米产量和氮肥利用效率得到协同提高。

参考文献:

- [1] Meng Q, Sun Q, Chen X, et al. Alternative cropping systems for sustainable water and nitrogen use in the north china plain[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2012, 146(1): 93-102.
- [2] Kamara A Y, Menkir A, Badu-Apraku B, et al. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes[J]. The Journal of Agricultural Science, 2003, 141

- (1): 43-50.
- [3] 李叶蓓,陶洪斌,王若男,等.干旱对玉米穗发育及产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(4):383-391.
- Li Y P, Tao H B, Wang R N, et al. Effect of drought on ear development and yield of maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(4): 383-391. (in Chinese)
- [4] 白向历,孙世贤,杨国航,等.不同生育时期水分胁迫对玉米产量及生长发育的影响[J].玉米科学,2009,17(2):60-63.
- Bai X L, Sun S X, Yang G H, et al. Effect of water stress on maize yield during different growing stages[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(2): 60-63. (in Chinese)
- [5] 姜涛.氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013(19):559-565.
- Jiang T. Effects of nitrogen application regime on yield, quality and plant nutrient contents of summer maize[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013(19): 559-565. (in Chinese)
- [6] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008(5):915-924.
- Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008(5): 915-924. (in Chinese)
- [7] Ju X, Gu B, Galloway J N, et al. Reducing China's fertilizer use by increasing farm size[J]. Global Environmental Change, 2016, 41: 26-32.
- [8] 张慧,赵红香,温立玉,等.黄淮海区域30个夏玉米品种干物质积累和氮素转运特性[J].玉米科学,2016,24(3):78-84.
- Zhang H, Zhao H S, Wen L Y, et al. Characteristics of dry matter accumulation and nitrogen use efficiency of 30 summer maize hybrids with cluster analysis grouped in Huang-Huai-Hai region[J]. 2016, 24(3): 78-84. (in Chinese)
- [9] Trenton F S, Joseph G L. Corn grain yield response to crop rotation and nitrogen over 35 years[J]. Agronomy Journal, 2008, 100: 643-650.
- [10] 孙新素,龙致炜,宋广鹏,等.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[J].中国农业科学,2017,50(13):2476-2487.
- Sun X S, Long Z W, Song G P, et al. Effects of climate change on cropping pattern and yield of summer maize-winter wheat in Huang-Huai-Hai plain[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(13): 2476-2487. (in Chinese)
- [11] 薛昌颖,马志红,胡程达.近40a黄淮海地区夏玉米生长季干旱时空特征分析[J].自然灾害学报,2016,25(2):1-14.
- Xue C Y, Ma Z H, Hu C D. Spatiotemporal characteristics of drought during summer maize growing season in Huang-Huai-Hai area for recent 40 years[J]. Journal of Natural Disasters, 2016, 25(2): 1-14. (in Chinese)
- [12] 梅旭荣,康绍忠,于强,等.协同提升黄淮海平原作物生产力与农田水分利用效率途径[J].中国农业科学,2013,46(6):1149-1157.
- Mei X R, Kang S Z, Yu Q. Pathways to synchronously improving crop productivity and field water use efficiency in the North China Plain[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6): 1149-1157. (in Chinese)
- [13] 陈新平,张福锁,崔振岭,等.小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [14] 杨新泉,冯锋,宋长青,等.主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):373-376.
- Yang X Q, Feng F, Song C Q, et al. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2003, 9(3): 373-376. (in Chinese)
- [15] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,9(1):1-6.
- Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6. (in Chinese)
- [16] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2006, 143(1): 0-125.
- [17] 徐钰,刘兆辉,张建军,等.不同氮肥管理措施对华北地区夏玉米田增产减排的效果分析[J].中国土壤与肥料,2018(1):9-15.
- Xu Y, Liu Z H, Zhang J J, et al. Effect of different nitrogen management measures on yield and nitrous oxide emission of summer maize field in North China plain[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(1): 9-15. (in Chinese)
- [18] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 327(5968): 1008-1010.
- [19] 隋凯强,赵龙刚,刘树堂,等.水肥耦合对夏玉米根系形态及产量的影响[J].华北农学报,2018,33(4):232-238.
- Sui K Q, Zhao L G, Liu S T, et al. Effects of coupling water and fertilizer on root morphology and yield of summer maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2018, 33(4): 232-238. (in Chinese)
- [20] 崔文芳,高聚林,屈佳伟,等.氮高效玉米杂交种的筛选及氮效率相关特性分析[J].玉米科学,2016,24(4):72-82.
- Cui W F, Gao J L, Qu J W, et al. Analysis of nitrogen efficient maize hybrid screening and nitrogen efficiency related characteristics[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(4): 72-82. (in Chinese)
- [21] Delmer D. Agriculture in the developing world: connecting innovations in plant research to downstream applications[J]. Proc. Natl Acad. Sci., USA, 2005, 102: 15739-15746.
- [22] 葛体达,隋方功,白莉萍,等.不同土壤水分对玉米光合特性和产量的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2005(2):143-147.
- Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of different soil water content on the photosynthetic character and pod yields of summer maize[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2005(2): 143-147. (in Chinese)
- [23] 肖俊夫,刘战东.中国玉米需水量与需水规律研究[J].玉米科学,2008,16(4):21-25.
- Xiao J F, Liu Z D. Study on the water requirement and water requirement regulation of maize in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4): 21-25. (in Chinese)
- [24] 曹云者,宇振荣,赵同科.夏玉米需水及耗水规律的研究[J].华北农学报,2003,18(2):47-50.

- Cao Y Z, Yu Z R, Zhao T K. Study of water demand and consumption rules in summer maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2003, 18(2): 47-50. (in Chinese)
- [25] 侯云鹏,孔丽丽,秦裕波,等. 吉林省中部黑土区玉米氮肥效应研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(3): 130-133.
- Hou Y P, Kong L L, Qin Y B, et al. Nitrogen fertilizer effect on black soil of the central region in Jilin province[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(3): 130-133. (in Chinese)
- [26] 徐杰,陶洪斌,宋庆芳,等. 水氮配置对华北冬小麦-夏玉米种植体系氮素利用及土壤硝态氮残留的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(4): 153-158.
- Xu J, Tao H B, Song Q F, et al. The effect of water-nitrogen regimes on the nitrogen utilization and soil $\text{NO}_3\text{-N}$ residue of winter wheat-summer maize system in the North China Plain[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(4): 153-158. (in Chinese)
- [27] 吕丽华,董志强,张经廷,等. 水氮对冬小麦-夏玉米产量及氮利用效应研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(19): 3839-3849.
- Lü L H, Dong Z Q, Zhang J T, et al. Effect of water and nitrogen on yield and nitrogen utilization of winter wheat and summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(19): 3839-3849. (in Chinese)
- [28] 李广浩,赵斌,董树亭,等. 控释尿素水氮耦合对夏玉米产量和光合特性的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(9): 1406-1415.
- Li G H, Zhao B, Dong S T, et al. Effects of coupling controlled release urea with water on yield and photo-synthetic characteristics in summer maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(9): 1406-1415. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

欢迎订阅《农业科技管理》杂志

主管 中华人民共和国农业农村部

主办 吉林省农业科学院 中国农业科技管理研究会

主要栏目 高端论坛、特约稿件、科技体制改革、发展战略、科研管理、科技条件建设、三农问题研究、科技成果转化、科技推广、乡村振兴、知识产权研究、生物安全、产业发展、科技人才、成果推介(新书推介)等栏目

读者对象 农业科研、教育、推广、行政系统及涉农企业的管理人员和热心农业科技管理研究的各界人士

《农业科技管理》为中国农业科技管理研究会会刊。创刊于1982年,是迄今为止我国唯一的一个农业科技管理专业期刊。1992年,被评为全国中文核心期刊。创刊以来,本刊坚持以“提高我国农业科技管理水平、推动农业科技体制改革、加强农业科技管理学科建设,促进农业科技、经济、社会协调发展”为宗旨,在普及管理理论、活跃学术思想、推动我国农业科技体制改革和提高农业科技管理水平等方面起到了重要作用。由于办刊指导思想明确,选题准确,深受各地读作者的喜欢。据万方2019年最新统计,本刊影响因子为1.361,位于国内同领域期刊前列。国内读作者遍及祖国30个省、自治区、直辖市。本刊现已被中国学术期刊(光盘版)全文收录,成为中国期刊全文数据库(CJFD)全文收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)统计源期刊、万方数据-数字化期刊群全文上网期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中文科技期刊数据库全文收录期刊、全国优秀农业期刊和吉林省一级期刊。

《农业科技管理》双月刊,逢双月26日出版。国际标准大16开本,96页。每册定价6.00元,全年36.00元。国内统一刊号CN 22-1143/S,广告经营许可证:2200006000159,邮发代号12-68。各地邮局均可订阅,也可随时向编辑部订阅。欢迎赐稿! 欢迎办理广告业务!

编辑部地址: 吉林省长春市净月高新技术产业开发区生态大街1363号 邮编: 130033

垂询电话: 0431-87063649 0431-87063159

网 址: <http://www.jaas.com.cn> E-mail: nykjgl@cjaas.com