

不同水氮配比对黑河中游玉米叶片荧光参数及水氮利用的影响

张东昱¹ 宋学林¹ 陈修斌² 何斌³

(¹ 甘肃省张掖市种子管理局, 张掖 734000; ² 河西学院农业与生物技术学院, 张掖 734000;

³ 甘肃省张掖市农业综合行政执法队, 张掖 734000)

摘要:为探求覆膜滴灌种植下黑河中游玉米最适宜水氮用量,分别设置3个灌水量与3个施氮量水平,研究不同水氮配比对玉米不同生育阶段叶片叶绿素荧光参数及穗行数、行粒数、百粒重与经济产量等的影响。结果表明,采用W2N2(灌水量2400m³/hm²、施氮量180kg/hm²)的水氮配比处理,玉米在苗期、抽丝期、灌浆期的PS II原初光能转换效率(F_v/F_m)和叶片PS II潜在活性(F_v/F_o)最高;玉米在穗行数、行粒数、百粒重与经济产量等农艺性状上表现最优,分别为17.32行、36.54粒、34.62g与12.53t/hm²;水氮的交互作用对玉米百粒重与经济产量的影响极显著。

关键词:水氮配比; F_v/F_m ; F_v/F_o ; 水氮利用

黑河中游位于河西走廊中段,流域面积2.34万km²,张掖市地处大陆腹地,是甘肃省的重要农业区,该区光热资源丰富,但干旱严重,主要依靠黑河供水。玉米(*Zea mays* L.)是本区农业增效、农民增收的主要粮食作物,生产上粗放的水氮管理已经造成土壤板结、理化性状下降、水资源浪费与氮肥利用率降低。

研究报道国内氮肥利用效率仅为30%~35%,较国外低20%左右,合理的水氮比例,可达到以肥调水、以水促肥,使作物获得较高的产量和较好的品质。王栋等^[1]研究了春玉米全生育期喷灌条件下的水肥用量,得出每hm²施磷肥134.4kg、氮肥282.5kg、灌水定额1061.0m³时春玉米的产量最高。孙文涛等^[2]通过滴灌水肥耦合试验发现,氮磷肥和灌水量及其交互作用对玉米产量的影响都表现为正效应,其交互作用的效应顺序为氮水>磷水>氮磷。杨启良等^[3]研究了沟灌方式和水氮对玉米产量与水分传导的影响,发现交替灌溉方式下采用灌水定额282mm、施氮量270kg/hm²,玉米水分传导最优。这些研究多数集中在水肥协同条件下,通过产量和水分利用效率等来寻求玉米在高产时的最佳水肥组合。叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 是衡量

作物光合能力高低的重要指标,其数值大小可以反映作物在代谢过程中对光能的利用程度及PSII原初光能转换效率^[4], F_v/F_o 表示叶片PSII潜在活性的大小,它是反映叶片潜在光合能力高低的重要指标^[5]。本研究立足黑河中游的自然环境条件,探讨不同水氮配比对玉米不同生育阶段叶片叶绿素荧光参数及产量的影响,寻求春玉米滴灌施肥的适宜水肥用量,以期在当地春玉米实现水肥一体化管理提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验地概况 供试玉米品种为兴达5号,由甘肃兴达种业有限公司提供。试验于2019年3-10月在甘肃省张掖市甘州区党寨镇绿洲农业示范区生产基地内进行。供试土壤为灌漠土,有机质含量为11.25g/kg,碱解氮58.47mg/kg,速效磷9.85mg/kg,速效钾146.54mg/kg,pH值为6.48,全盐0.78g/kg,容重1.17g/cm³,总孔隙度52.38%,质地砂壤。

1.2 试验设计 试验采用裂区设计,主区为灌水定额,副区为施氮量^[6]。灌水量设3个灌溉定额:W1(1600m³/hm²)、W2(2400m³/hm²)和W3(3200m³/hm²);施氮量设3个梯度:N1(100kg/hm²)、N2(180kg/hm²)和N3(260kg/hm²),氮肥均以纯N计算。不同水氮耦合模式见表1。

表1 不同水氮耦合模式

灌水量(m^3/hm^2)	施氮量(kg/hm^2)		
	N1 (100)	N2 (180)	N3 (260)
W1 (1600)	W1N1	W1N2	W1N3
W2 (2400)	W2N1	W2N2	W2N3
W3 (3200)	W3N1	W3N2	W3N3

试验共设9个处理,即9种水氮耦合模式处理。于2019年4月16日播种,种植畦长10m、宽1m,各处理种植面积 20m^2 ,保苗数93000株 $/\text{hm}^2$,采用覆膜滴灌种植,处理间用塑料薄膜深埋30cm,以防水分相互渗漏;试验的氮肥由尿素(含N46.4%)提供,氮肥的40%作基肥施入,剩余60%在苗期、抽丝期与灌浆期分3次等量施入,磷肥与钾肥分别由重过磷酸钙(含 P_2O_5 44%)和氯化钾(含 K_2O 60%)提供,每 hm^2 用量为 P_2O_5 200kg、 K_2O 120kg。播种前,将全部的磷肥和钾肥的40%作基肥施入,剩余60%作追肥分3次与氮肥追肥时施入。水肥采用SF-16W自动灌溉水肥一体化施肥机控制施入。

1.3 测定项目

1.3.1 叶片PSII原初光能转换效率(F_v/F_m)和叶片PSII活性(F_v/F_o)测定 F_o 是PSII反应中心处于完全开放时的荧光产量, F_m 是PSII反应中心处于完全关闭时的荧光产量, F_v 为可变荧光,反映PSII原初电子受体QA的还原情况; F_v/F_m 是暗适应下PSII最大光化学量子产量,反映PSII反应中心内禀光能转换效率; F_v/F_o 是叶片活力的指标,反映叶片的潜在光合活力^[7]。在玉米的苗期、抽丝期与灌浆期,于10:00-12:00每个处理随机选择6片同位的叶子,用英国Hansatech公司的HandyPEA植物效率分析仪测定经过暗适应20min以上的叶片初始荧光(F_o)和最大荧光(F_m),每处理3次重复,计算PSII原初光能转换效率(F_v/F_m)、叶片PSII活性(F_v/F_o),其中 $F_v = (F_m - F_o)$, $F_v/F_o = (F_m - F_o) / F_o$, $F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m$ ^[7],每个处理随机测定6株,取其平均值。

1.3.2 产量性状、水分与氮肥利用效率测定 在玉米的收获期,每个处理随机标定3株,统计穗行数、行粒数、百粒重及经济产量。灌溉水利用率(IWUE)为经济产量(kg/hm^2)与生育期内总灌水量(m^3/hm^2)的比值,氮肥施用效率(NAE)为经济产量(t/hm^2)

与总施氮量(kg/hm^2)的比值^[8]。

1.4 数据分析 采用DPS 9.50和Excel 2003软件进行数据计算与分析,采用Duncan's法进行差异显著性分析,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 与 F_v/F_o 影响 由图1可知,采用W2N2的水氮配比处理,玉米在苗期、抽丝期、灌浆期的 F_v/F_m 数值最高,分别为0.71、0.78和0.75,均高于其他处理,且在苗期和灌浆期显著高于其他处理,在抽丝期显著高于除W3N2外的其他处理。说明在W2N2水氮配比处理下,水分与氮肥的耦合作用对玉米的光能利用起到了叠加效应,玉米植株保持了较强的光化学效率,随着玉米的生长,在抽丝期植株保持最强的代谢能力,到灌浆期生长势变弱,对养分与水分的吸收速度变慢,从而使 F_v/F_m 的值在不同生长阶段产生差异。

由图2可知,在W2N2水氮配比处理下,玉米植株在苗期、抽丝期、灌浆期时 F_v/F_o 的数值最高,分别为3.12、3.57和3.36,均显著高于其他处理。玉米叶片 F_v/F_o 数值的变化规律与 F_v/F_m 相似,说明随着玉米植株PSII原初光能转换效率的提高,其植株叶片潜在活性也随着增强;在W2N2处理下,玉米植株叶片PSII活性最强,其他处理由于水氮营养配比失衡,其水氮耦合效应产生了拮抗作用,造成土壤环境产生逆境胁迫的条件,从而导致玉米对水分与氮肥吸收受到抑制,植株生长势减弱,其植株体叶片的潜在活性也随之降低。

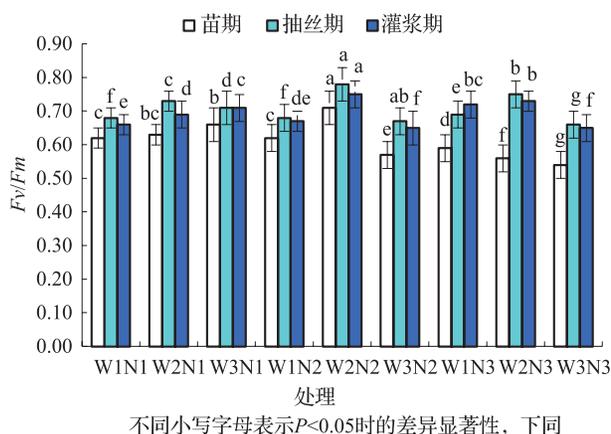


图1 不同处理对玉米叶片PSII原初光能转换效率(F_v/F_m)的影响

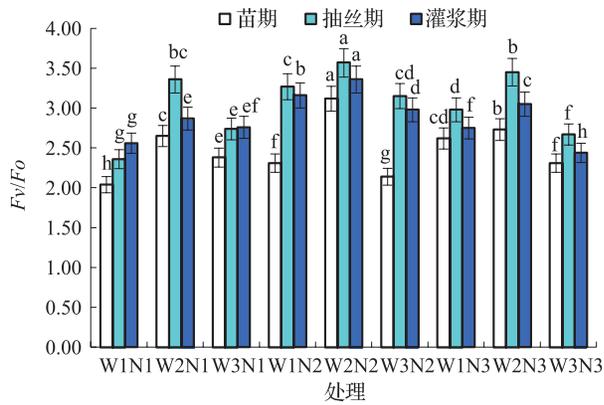


图2 不同处理对玉米叶片PSII活性(F_v/F_o)的影响

2.2 不同处理对玉米产量与水氮利用率影响 由表2可知,不同的水氮配比组成的处理中,以W2N2处理的玉米穗行数最多,为17.32行,显著高于其他处理;行粒数、百粒重与经济产量也以W2N2处理的数值最高,分别为36.54粒、34.62g与12.53t/hm²,均高于其他处理,且显著高于除W1N2外的所有

处理。玉米的经济产量,以N2组成的水氮处理(W1N2、W2N2、W3N2)要高于N1组成的水氮处理(W1N1、W2N1、W3N1)与N3组成的水氮处理(W1N3、W2N3、W3N3),说明采用N2组成的水氮处理,水氮耦合对玉米生长起到了协同作用,因此植株保持较强的代谢能力,随着植株同化作用的增强,促进了穗行数及行粒数的增加。

从灌溉水利用率(IWUE)来看,在同一施氮水平下,随着灌水量的增加,灌溉水利用率逐渐下降,W1N2的水氮组合处理下,玉米的灌溉水利用率最高,达到7.73kg/m³,显著高于其他处理,说明适宜的水氮配比可以提高灌溉水的利用率;同一灌水量条件下,氮肥施用效率(NAE)随着施氮量的增加,呈现下降趋势,以处理W1N1的氮肥施用效率最高,达到0.110t/kg,显著高于其他处理,在N3施氮量下,随着灌水量的增加,不同处理(W1N3、W2N3与W3N3)氮肥施用效率不再提高,数值保持不变。

表2 水氮互作对玉米产量与水氮施用效率的影响

处理	穗行数	行粒数	百粒重(g)	经济产量(t/hm ²)	IWUE(kg/m ³)	NAE(t/kg)
W1N1	16.23 ± 1.42de	31.56 ± 2.87cd	30.75 ± 1.14cd	10.68 ± 0.17f	6.85 ± 0.32bc	0.110 ± 0.05a
W2N1	14.98 ± 1.67g	26.97 ± 3.71g	27.84 ± 1.75g	10.71 ± 0.25ef	4.11 ± 0.27f	0.099 ± 0.02c
W3N1	15.78 ± 1.25fg	27.84 ± 3.56fg	28.54 ± 2.68f	9.86 ± 0.78g	3.34 ± 0.19h	0.107 ± 0.06b
W1N2	17.24 ± 0.98b	35.76 ± 3.21ab	33.65 ± 2.67ab	12.37 ± 0.84ab	7.73 ± 0.35a	0.069 ± 0.01de
W2N2	17.32 ± 1.05a	36.54 ± 4.27a	34.62 ± 3.68a	12.53 ± 0.36a	5.22 ± 0.24d	0.070 ± 0.01d
W3N2	16.85 ± 1.12bc	34.76 ± 2.58b	32.87 ± 2.26b	11.62 ± 0.47b	3.63 ± 0.27g	0.065 ± 0.02e
W1N3	16.18 ± 1.14e	30.65 ± 2.36de	29.86 ± 2.31de	10.87 ± 0.23de	6.79 ± 0.24b	0.042 ± 0.01f
W2N3	16.35 ± 1.13cd	33.62 ± 2.67bc	31.45 ± 1.68c	11.03 ± 0.35c	4.60 ± 0.28e	0.042 ± 0.01f
W3N3	15.94 ± 1.06ef	29.68 ± 3.12ef	29.37 ± 2.52e	10.96 ± 0.64d	3.35 ± 0.19gh	0.042 ± 0.01f

2.3 水氮互作对玉米产量与水氮施用效率的显著性分析 由表3可知,水分对玉米的穗行数与行粒数的形成影响极显著,对氮肥施用效率影响显著;氮

肥对百粒重、经济产量与灌溉水的利用率影响显著;水氮的交互作用对玉米百粒重与经济产量的影响极显著,对穗行数与行粒数影响显著。

表3 水氮互作对玉米产量与水氮施用效率的显著性检验分析

处理	穗行数	行粒数	百粒重(g)	经济产量(t/hm ²)	IWUE(kg/m ³)	NAE(t/kg)
水分	36.84**	41.35**	15.63	10.38	8.62	5.32*
氮肥	14.72	16.54	23.76*	18.65*	13.25*	3.21
水分 × 氮肥	25.46*	28.78*	46.53**	26.87**	7.54	2.62

表中数值为平均值,*表示差异显著,**表示差异极显著

3 结论与讨论

叶绿素吸收的光能通过光合电子传递、叶绿素荧光发射和热耗散3种途径来消耗^[9]。本试验中采用W2N2的水氮配比处理,玉米在苗期、抽丝期、灌浆期的 Fv/Fm 数值最高,分别为0.71、0.78和0.75, Fv/Fo 数值也最高,分别为3.12、3.57和3.36,表明其PSII潜在活性和原初光能转化效率均较强,说明W2N2组成的水氮溶液环境更利于玉米对水分与营养物质的吸收,其他处理由于水氮营养配比失衡,其水氮耦合效应产生了拮抗作用,造成土壤环境产生逆境胁迫的条件,从而导致玉米对水分与氮肥吸收受到抑制,植株长势减弱,植株叶片的潜在活性也随之降低,这与已有的研究结果相一致^[10-11]。

在适宜的范围内,施肥和灌水对产量存在明显的正效应,过量时会引起负效应,呈现出递减规律。本试验中,采用N2的施氮量组成的水肥配比处理,玉米在穗行数、行粒数、百粒重与经济产量的表现上要高于其他处理,尤其以W2N2处理的玉米经济产量表现最高,说明本处理下的灌水量与氮肥配比,最适宜玉米生长发育对营养物质的需求;而由N1或N3组成的水氮处理组合,因营养配比失调,导致玉米对养分吸收产生障碍,影响穗粒的形成,从而使玉米的经济产量显著降低。有研究表明水肥耦合存在阈值,低于阈值,增加灌水量和施肥量都能显著增加产量;高于阈值,增产效果不明显;在过量施肥时,会对产量产生负效应^[12-13]。冯亚阳等^[14]研究证明,高灌溉水平下籽粒收获指数降低,中水中氮的耦合用量下可获得较高的收获指数,过量的水分供给降低了水分对籽粒的贡献,这与本研究一致。

本试验中灌溉水利用率(IWUE)最高的为W1N2,表明在W1灌水量($1600\text{m}^3/\text{hm}^2$)与N2施氮量($180\text{kg}/\text{hm}^2$)的条件下,灌溉水的利用率最高;在氮肥用量相同情况下,随着灌水量的增加,灌溉水利用率有降低的趋势。氮肥施用效率以处理W1N1为最高,达到 $0.110\text{t}/\text{kg}$,说明在W1灌水量($1600\text{m}^3/\text{hm}^2$)与N1施氮量($100\text{kg}/\text{hm}^2$)时,玉米对氮肥施用效率最大;但当氮肥用量达最高水平时,氮肥施用效

率保持不变,水分利用效率随着灌水量的增加而减小。氮肥对水分利用效率的影响明显大于灌水,而灌水量对氮肥施用效率的影响显著高于氮肥施用量的影响,这也说明了施肥具有明显的调水作用,灌水具有一定的调肥作用,水肥的吸收是可以相互促进^[15]。

参考文献

- [1] 王栋,张忠学,梁乾平,聂堂哲,李蔚新. 黑龙江省半干旱区玉米喷灌水肥耦合效应试验研究. 节水灌溉,2016(6): 15-18
- [2] 孙文涛,孙占祥,王聪翔,宫亮,张玉龙. 滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究. 中国农业科学,2006,39(3): 563-568
- [3] 杨启良,张富仓,刘小刚,戈振扬. 沟灌方式和氮对玉米产量与水分传导的影响. 农业工程学报,2011,27(1): 15-21
- [4] 丛雪,齐华,孟凡超,刘明. 干旱胁迫对玉米叶绿素荧光参数及质膜透性的影响. 华北农学报,2010,25(5): 141-144
- [5] 陈修斌,李翊华,许耀照,徐学军. 水肥耦合对河西绿洲灌漠土甘蓝叶绿素荧光参数及产量影响. 土壤通报,2016,47(5): 1211-1217
- [6] 张学科,李惠霞. 不同灌溉方式下温室番茄水分利用率及经济效益研究. 灌溉排水学报,2016,35(7): 97-100
- [7] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349
- [8] Cabello M J, Castellanos M T, Romojaro F, Martínez-madrid C, Ribas F. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. Agriculture Water Management, 2009, 96: 866-874
- [9] 肖万欣,王延波,谢甫缙,赵海岩,刘晶,史磊. 干旱对玉米自交系叶片叶绿素荧光特性的影响. 玉米科学,2015,23(4): 54-61
- [10] 赵会杰,邹琦,于振文. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用. 河南农业大学学报,2000,34(3): 248-251
- [11] 李植,秦向阳,王晓光,李兴涛,王建辉,曹敏建. 大豆/玉米间作对大豆叶片光合特性和叶绿素荧光动力学参数的影响. 大豆科学,2010,29(9): 808-811
- [12] 王新,马富裕,刁明,樊华,崔静,贾彪,何海兵,刘其. 不同施氮水平下加工番茄植株生长和氮素积累与利用率的动态模拟. 应用生态学报,2014,25(4): 1043-1050
- [13] 尚文彬,张忠学,郑恩楠,刘明. 水氮耦合对膜下滴灌玉米产量和水氮利用的影响. 灌溉排水学报,2019,38(1): 49-54
- [14] 冯亚阳,史海滨,李瑞平,戚迎龙,贾琼. 膜下滴灌水氮耦合效应对玉米干物质与产量的影响. 排灌机械工程学报,2018,36(8): 750-755
- [15] 王淑香,龙志伟. 水肥耦合与水稻干物质积累和产量要素的关系研究. 中国种业,2010(9): 79-82

(收稿日期: 2020-11-09)