

氮肥对北疆滴灌复播青储玉米光合特性 及养分利用的影响

裴磊^{1,2}, 王振华^{1,2}, 郑旭荣^{1,2}, 王久龙^{1,2}

(1.石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 2.现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘要: 为了解氮肥对北疆滴灌复播青储玉米生理指标的影响,提高氮肥利用效率,通过田间小区试验,研究了一管一行毛管布置模式下,不同氮肥处理(100、170、240、310、380 kg·hm⁻²)对复播青储玉米光合特性、土壤铵态氮分布的影响。结果表明,不同氮肥处理条件下复播玉米叶片净光合速率、蒸腾速率日变化曲线均呈单峰型;土壤铵态氮含量总体上随施氮量的增加先减少后增加;产量随施氮量的增加先增加后减小。综合分析认为,一管一行毛管布置模式下,240 kg·hm⁻²的施氮量处理下水氮耦合效果最佳,土壤铵态氮含量总体最少,产量与叶片水分利用效率最高,净光合速率较高。

关键词: 滴灌;复播;青储玉米;氮肥;光合特性;产量

中图分类号: S275.6 **文献标志码:** A

Effects of nitrogen fertilizer on the photosynthetic characteristics and nutrient utilization of drip irrigated silage maize by sequential cropping in north Xinjiang

PEI Lei^{1,2}, WANG Zhen-hua^{1,2}, ZHENG Xu-rong^{1,2}, WANG Jiu-long^{1,2}

(1. College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. Corps Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: In order to investigate the effects of nitrogen (N) fertilizer on the physiological indexes of drip irrigated silage maize by sequential cropping in north Xinjiang, to increase N fertilizer utilization efficiency, through the field plot experiments have researched the effects of photosynthetic characteristics and soil NH₄⁺ - N distribution under the layout pattern of one row with one lateral pipe and different N fertilizer treatments (i.e., 100, 170, 240, 310 kg·hm⁻² and 385 kg·hm⁻²). The results showed that: For different N fertilizer treatment condition, the daily change curves of the net photosynthetic rate of the leaves and transpiration rate of the sequential cropping maize displayed a single peak type. Holistically, soil total NH₄⁺ - N content decreased at first and then increased with increasing the N application. The yield increased at first and then decreased with increasing N application. Through the comprehensive analysis, we think under the layout pattern of one row with one lateral pipe, the N fertilizer application treatment of 240 kg·hm⁻² was the best effect of water - N coupling with the lowest soil total NH₄⁺ - N content, highest yield and water use efficiency of the leaf, and a relatively high net photosynthetic rate.

Keywords: drip irrigation; sequential cropping; silage maize; nitrogen fertilizer; photosynthetic characteristics; yield

针对新疆生产建设兵团(以下简称兵团)棉花种植面积过大,农业种植结构过于单一的情况,2008年兵团党委决定,转变发展方式,进行“减棉、增粮、增畜、增果”,调整现有种植模式。小麦在滴灌技术应用下,管理更加方便,为充分利用小麦收获后丰富

的光热资源,在北疆推行滴灌条件下“一年两作”种植模式,即进行滴灌小麦收获后复播青储玉米、油菜或大豆等作物^[1-2],从而提高北疆复种指数,在不增加种植面积和现有水资源供给的前提下,适度增加粮食和牧草的产量。

收稿日期:2014-02-17

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD29B06);国家自然科学基金项目(51169022)

作者简介:裴磊(1989—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为干旱区节水灌溉理论与技术研究。

通信作者:王振华(1979—),男,河南扶沟人,教授,博士,从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: wzh2002027@163.com。

水、肥是作物生长的两个重要因子,养分得不到充分供给会限制产量,而水分不仅影响作物对养分的吸收^[3],也影响作物产品结构和养分在体内的转移与分配^[4]。当前新疆在滴灌小麦及复播大豆、青储玉米、油葵等作物“一年两作”种植模式的生产过程中水肥投入过多,水肥利用效率低下,超过滴灌棉花用水总量,不仅导致灌区水资源更加紧张,增加了种植成本,也可能引起土壤和水环境的污染。因此合理利用化肥对农业发展有着非常积极的意义^[5],肥水配合不仅能同时供应养分和水分,促进作物对两者的吸收,而且能提高养分在籽粒的比重,使养分更多地向经济产品中转运,从而达到良好的增产效果。光合作用形成的物质是作物生长和产量的基础,是构成作物品质的决定性因素^[6],而复播青储玉米的光合作用及产量形成受水、氮的影响应该不同于常规玉米。玉米水分利用效率(WUE)随灌水量、耗水量增加而提高,但是较高的WUE并未在灌水量及灌水频率最高的处理,而在中等灌水和灌水频率的处理^[7-8],本文在滴灌复播玉米适宜灌水定额和灌溉定额^[2]的基础上,探求不同施氮量对复播青储玉米光合特性及养分利用的影响,以期对滴灌复播青储玉米氮肥合理使用,提高水肥利用效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验于2013年7月至10月在现代节水灌溉兵团重点实验室试验基地暨石河子大学节水灌溉试验站进行。试验站位于新疆生产建设兵团第八师石河子市西郊石河子大学农场二连,北纬44°18'25",东

经86°03'27",海拔451 m,年平均日照时间达2 865 h,大于10℃积温为3 463.5℃,大于15℃积温为2 960.0℃,无霜期达到170 d,多年平均降雨量207 mm,平均蒸发量1 660 mm。试验地地下水埋深大于5 m,土壤质地为中壤土。

1.2 试验设计

本试验以玉米品种“瑞玉 F98”为研究对象,采用小区试验,规格为18.6 m×4.5 m(长×宽),设计了5种不同的氮肥处理,2次重复,共10个小区,采用一管一行的毛管布置模式,试验方案详见表1及图1。于7月8日播种,玉米的播种深度为4~5 cm,株距20 cm。7月12日出苗,10月5日收获,全生育期总共90 d。本试验所有处理灌水定额均为465 m³·hm⁻²,灌溉次数均为7次:苗期1次,拔节期3次,抽雄吐絮期2次,灌浆期1次;不同处理间磷肥与钾肥投入量相同,分别在拔节期、抽雄吐絮期、灌浆期随水施用磷酸钾铵(含纯氮6%,五氧化二磷51%,氧化钾17%)105、70、60 kg·hm⁻²,共235 kg·hm⁻²;不同处理间投入不同量的氮肥,分别在拔节期、抽雄吐絮期、灌浆期随水施用尿素(纯氮含量46.4%),含量见表1。每个小区由一个球阀和水表单独控制灌水,可保证每个小区单独并精确地进行灌水。滴灌带选用天业生产的单翼迷宫式滴灌带,外径16 mm,壁厚0.3 mm,滴头间距为30 cm,供水系统以水泵加压管道前部装设有压力表监测管道内水压力,支管闸阀开闭程度调节控制管道内压力至0.06 MPa,此时滴头流量在1.2 L·h⁻¹左右。每个小区选择10株长势均匀健壮的植株作为标准株进行生长、生理指标等观测。

表1 复播青储玉米种植模式试验处理

Table 1 The planting pattern experiment treatment of the sequential cropping silage maize

处理 Treatment	布置模式 Layout pattern	种植间距(x+y)/cm Planting spacing	灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²) The irrigation quota	施肥量/(kg·hm ⁻²) Fertilization amount		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
S1	一管一行 One row with one lateral pipe	60+60	465	100	125	41
S2	一管一行 One row with one lateral pipe	60+60	465	170	125	41
S3	一管一行 One row with one lateral pipe	60+60	465	240	125	41
S4	一管一行 One row with one lateral pipe	60+60	465	310	125	41
S5	一管一行 One row with one lateral pipe	60+60	465	380	125	41

1.3 测试指标及方法

1.3.1 光合生理指标测定 试验于复播青储玉米拔节期(2013年8月24日,晴天)进行,测定光合特性日变化。使用美国产的CI-340光合仪,从早晨9

:30时(北京时间,下同)开始测试至下午19:30时结束,选取复播青储玉米顶层功能叶片,每隔2 h测定一次,3次重复。测定项目包括光合有效辐射(PAR)、气温(Ta)、空气中二氧化碳浓度(Ca)等环

境因子指标,以及净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)等光合生理特性指标。根据记录数据计算叶片水分利用效率 WUE ,其公式为: $WUE = P_n/T_r$ 。

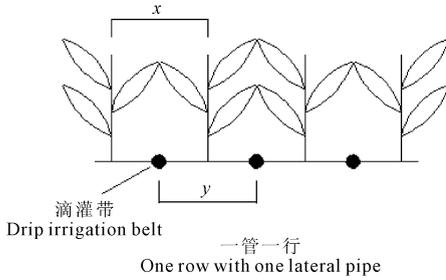


图 1 种植间距示意图

Fig.1 Schematic diagram of planting spacing

1.3.2 土壤中养分测定 每个小区都选择三个不同的位置,距离滴灌带 0 cm 即 S(0)、15 cm 即 S(15)、30 cm 即 S(30),于复播玉米不同生育阶段采取土样,测至 1 m 深。采用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl(土液比 1:5)浸提土壤,使用靛酚蓝比色法测定土壤铵态氮。

1.3.3 产量的测定 每个处理随机选取 1.44 m^2 内的完整植株,数出株数,用常规方法测量株重(鲜重,以下同上),然后折算出复播青储玉米公顷产量。

表 2 环境因子日变化

Table 2 Daily change of the environmental factors

环境因子 Environmental factors	9:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30
光照有效辐射/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Effective sunlight radiation	983.6d	1612.7c	1919.9b	1990a	1922.6b	888.3e
大气温度 Air temperature/ $^{\circ}\text{C}$	31.9e	37.5c	40.4b	42.7a	40.5b	36d
大气 CO_2 浓度/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$ Air CO_2 concentration	890.2a	572.3b	484.4e	556.7c	534.7d	891.2a

注:不同处理的小写字母表示差异显著性分析达 0.05 水平。下同。

Note: The small letters in different treatments indicate the significant difference analysis reach at 0.05 levels respectively. The same below.

2.2 不同氮肥处理对复播青储玉米光合特性的影响

2.2.1 对复播青储玉米净光合速率日变化的影响

不同氮肥处理对复播青储玉米叶片净光合速率日变化测定结果如图 2 所示。从图 2 可知,复播青储玉米叶片净光合速率日变化均呈单峰曲线,且峰型较为明显,峰值出现时间基本相同,但是大小有一定的差异。净光合速率峰值出现在 15:30 左右,不同氮肥处理之间均保持一致,最大峰值为 $42.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在 S5 即第 5 组的处理中,最小峰值为 $35.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在 S1 中即第 1 组的处理中,说明不同氮肥处理对复播青储玉米叶片净光合速率有显著的影响,在施肥过程中适度增加氮肥的施入量可以很好地增强复播玉米叶片的净光

1.3.4 数据处理 所有数据都使用 Microsoft Excel 及 SPSS 数据处理系统进行处理、分析,使用 Origin 完成制图。

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化

自然条件下作物叶片的光合特性受到光照有效辐射、大气温度和二氧化碳浓度等多个环境因子的影响。本试验主要探求光照有效辐射、大气温度以及大气二氧化碳浓度 3 个外界环境因子的日变化规律(见表 2)。日出后光照有效辐射(PAR)逐渐增大,在 9:30 时为 $983.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,到 15:30 时达到最大值 $1990 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后逐渐减弱,变化幅度较大,在 19:30 为 $888.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。日出后大气温度随着光照有效辐射的增大而增大,在 9:30 时为 31.9°C ,到 15:30 时达到最大值 42.7°C ,之后逐渐减弱。经过夜间的富集,大气二氧化碳浓度在早晨最高,在 9:30 时为 $890.2 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,随着作物光合作用的进行,大气二氧化碳浓度迅速下降,在 13:30 时达到一个低谷为 $484.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,之后有所回升后又再次下降,最后随着光合作用的减弱而再次增大。

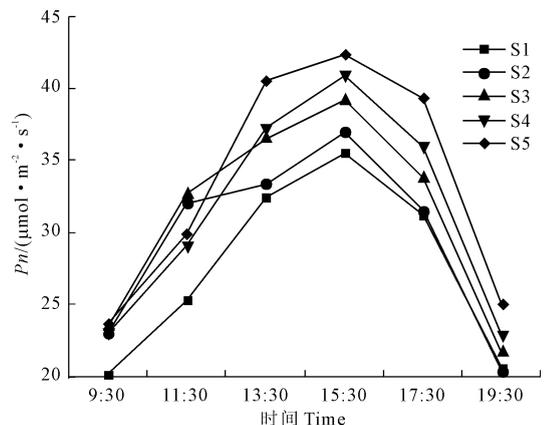


图 2 不同氮肥处理下复播青储玉米叶片 P_n 日变化
Fig.2 Daily changes of P_n of leaves of sequential cropping silage maize under different treatment of N fertilizers

合速率,以增加复播玉米的物质积累进而增加产量。不同氮肥处理,复播青储玉米叶片净光合速率第一次峰值表现为:S5(42.42) > S4(40.89) > S3(39.12) > S2(36.96) > S1(35.5)。

2.2.2 对复播青储玉米蒸腾速率日变化的影响

不同氮肥处理对复播青储玉米叶片蒸腾速率日变化测定结果如图3所示。

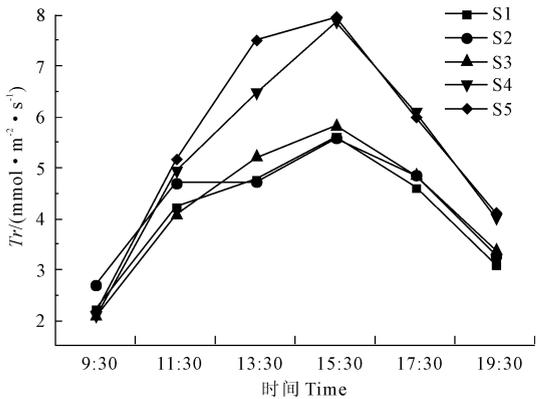


图3 不同氮肥处理下复播青储玉米叶片 Tr 日变化

Fig.3 Daily changes of Tr of leaves of sequential cropping silage maize under different treatment of N fertilizers

由图3可知,复播青储玉米叶片的蒸腾速率日变化基本呈现单峰曲线。在9:30时最小,此后随着光照强度以及大气温度等外界环境因子的上升,蒸腾速率开始上升,9:30—13:30之间上升较快,13:30—15:30之间上升较慢,在15:30时蒸腾速率达到最大值;此后随着光照强度和大气温度等外界环境因子的下降,蒸腾速率开始下降。在蒸腾速率的峰值中,最大峰值为 $7.95 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在S5即第5组的处理中,最小峰值为 $5.58 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在S2中即第2组的处理中,说明氮肥处理对复播玉米叶片蒸腾速率有显著的影响,在施肥过程中适度减少氮肥的施入量可以很好地降低复播玉米叶片的蒸腾速率,以减少复播玉米的水分损耗。不同氮肥处理,复播青储玉米叶片蒸腾速率峰值表现为:S5(7.95) > S4(7.88) > S3(5.82) > S1(5.61) > S2(5.58)。

2.2.3 对复播青储玉米水分利用效率日变化的影响

植物水分利用效率的研究始于20世纪初,至今已将近一个世纪,但植物水分利用效率的研究仍相当活跃,特别是在水分生理生态方面更是如此^[9],这主要是由于水分利用效率对于农林生产的重要性的水分利用效率测定方法的发展。在叶片尺度上,可以用 P_n 与 Tr 的比值来描述植物叶片的瞬时水分利用效率;对植物个体, $WUE = \text{干物质量} / \text{蒸腾量}$;对植物群体, $WUE = \text{干物质量} / (\text{蒸腾量} + \text{蒸发量})$ 。

因为植物个体水分利用效率可用叶片水分利用效率来估算^[10],所以植物个体水分利用效率与叶片水分利用效率在某种意义上是一致的^[9]。

叶片水分利用效率 (WUE) 是植物消耗每单位质量水分所固定的 CO_2 数量,反映了植物耗水与干物质生产之间的关系,是评价植物生长适宜程度的综合生理生态指标。不同氮肥处理对复播青储玉米叶片水分利用效率日变化测定结果如图4所示。

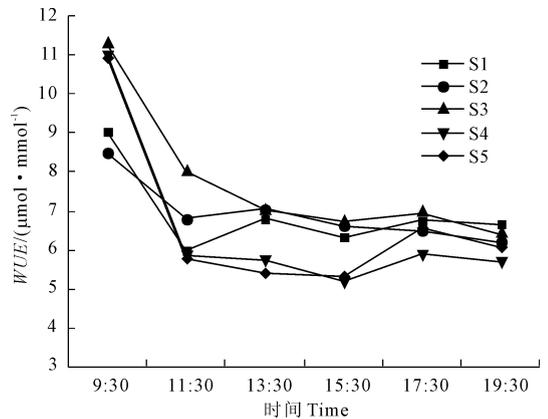


图4 不同氮肥处理下复播青储玉米叶片水分利用效率日变化

Fig.4 Daily changes of WUE of leaves of sequential cropping silage maize under different treatment of N fertilizers

由图4可知,复播青储玉米叶片的水分利用效率日变化曲线基本呈现为单谷形状,但是谷型不明显。在9:30时最大,此后随着蒸腾速率等内在生理因子的上升,水分利用效率开始下降,在15:30时蒸腾速率达到最大值,水分利用效率基本达到最小值;此后随着净光合速率的增加和蒸腾速率的下降,水分利用效率开始上升,在17:30时达到一个相对大值;之后随着净光合速率的下降而降低。以15:30时复播玉米叶片水分利用效率值为例,最大值为 $6.72 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,出现在S3即第3组的处理中,最小值为 $5.19 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 出现在S4中即第4组的处理中,说明不同施肥量的处理对复播玉米叶片水分利用效率一定影响,在施肥过程中选择适宜的氮肥施入量可以很好地增加复播玉米叶片的水分利用效率。不同施肥量处理下,复播青储玉米叶片水分利用效率在15:30时表现为:S3(6.72) > S2(6.62) > S1(6.33) > S5(5.32) > S4(5.19)。

2.3 不同氮肥处理对土壤铵态氮分布的影响

土壤中的矿质氮(铵态氮和硝态氮)虽然只占全氮的1%左右,却是植物直接吸收利用的主要对象^[11]。铵态氮是土壤中最重要的一种活性氮的形态:不仅是植物可以直接吸收利用的氮素营养,而且土壤对铵态氮吸附与解吸附的能力更是与植被吸收可利用氮密切相关^[12]。溶解于灌水中的铵态氮在

水分运动的作用下进入土壤,在土壤中随水分而扩散,铵态氮在土壤剖面中的分布直接决定于作物生长、气候条件、灌溉方式以及土壤性质等因素^[13]。本试验于复播青储玉米苗期、拔节期、抽雄吐絮期与

灌浆期末分别采取土样测得土壤铵态氮含量,取平均值后便得到铵态氮在土壤中的水平与垂直扩散情况,如图 5 所示。

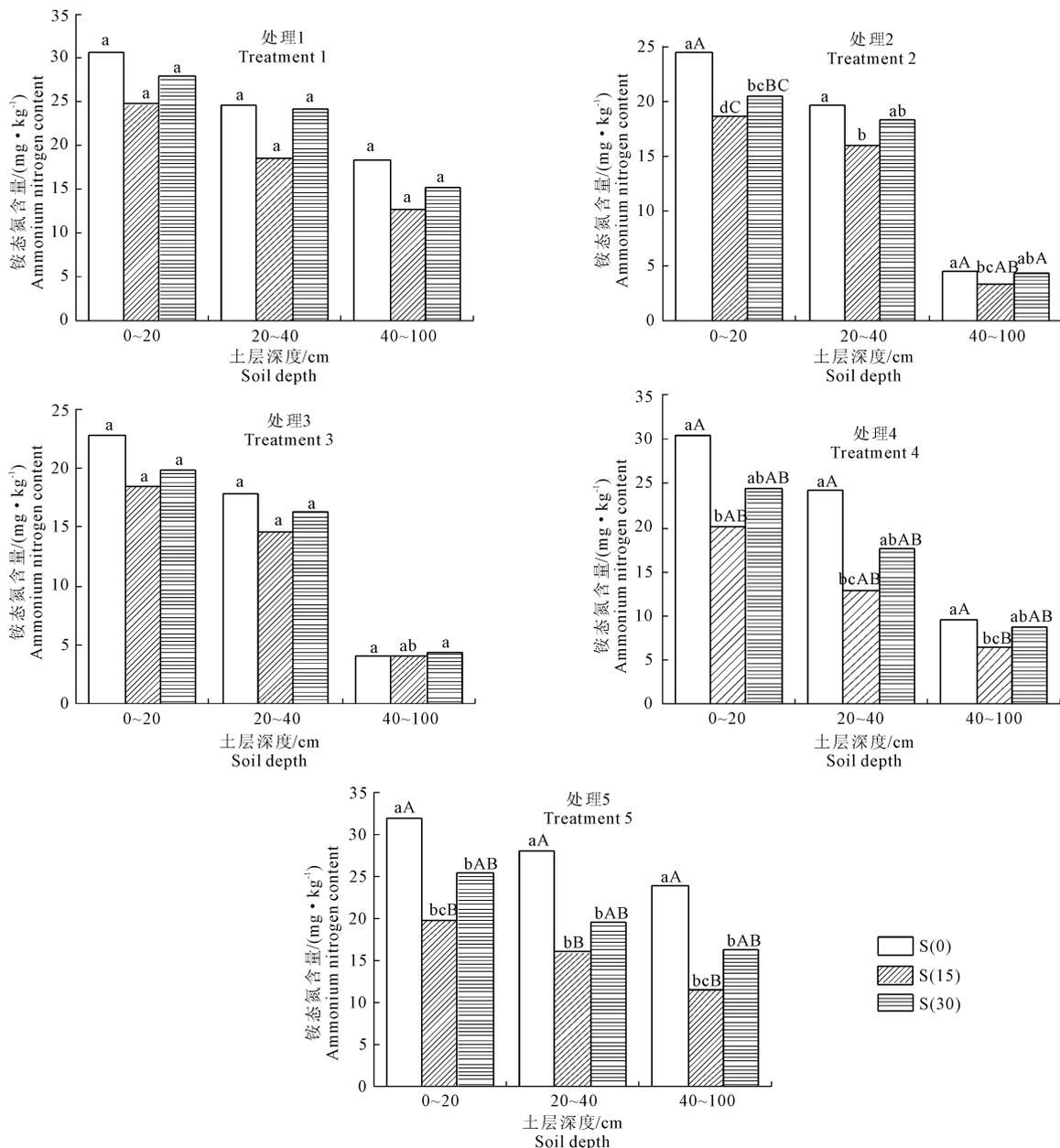


图 5 不同氮肥处理对土壤铵态氮分布的影响

Fig. 5 Effect of soil ammonium nitrogen distribution under different treatment of N fertilizers

注:不同处理的小写字母表示差异显著性分析达 0.05 水平,不同的大写字母表示差异显著性分析达 0.01 水平。

Notes: The small letters in different treatment indicated the significant difference analysis reached 0.05 levels, the capital letters in different treatment indicated the significant difference analysis reached 0.01 levels respectively.

由图 5 可知,不同氮肥处理下土壤铵态氮的扩散分布规律基本相同,向水平和垂直两方向沿浓度梯度扩散。铵态氮含量在垂直方向上以表层土壤(0~40 cm)含量最高,其中大量存在于 0~20 cm 土层,随着土层深度的增加,含量降低;铵态氮浓度在水平方向上随距离滴灌带间的距离增大逐渐降低,

而在 30 cm 处的高值可能与毛管布置模式有关。比较五种不同氮肥处理下铵态氮在土壤中运移过程可看出,施肥量也是影响铵态氮进入土壤过程和土壤中扩散情况的重要因素之一。本试验条件下,五种处理的灌水定额均相同为 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,土壤铵态氮的总体含量随施氮量的增加先减小后增大。处

理3(施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)下的土壤铵态氮含量最少,说明处理3模式下的水氮耦合有利于复播青储玉米根部对铵态氮的吸收,增加产量,降低铵态氮的挥发损失。因此,就本试验来说,灌水定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的耦合效果最佳,可以有效地利用肥料以及减少环境污染。

表3 不同氮肥处理对复播青储玉米产量的影响

Table 3 The different treatment of N fertilizers on yield effects of sequential cropping silage maize

处理 Treatment	总株数 The total number	测产产量/($\text{kg} \cdot 1.44\text{m}^{-2}$) Measured yield	理论产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Theoretical yield	增幅/% Growth
S1	17	10.84b	75300b	—
S2	17	11.31b	78600b	4.38
S3	17	12.18a	88600a	17.66
S4	17	10.78b	77900b	3.45
S5	17	10.97b	76200b	1.20

由表3看出,不同氮肥处理之间总的趋势是产量随施氮量的增加而增加,但是施氮量达到一定程度后(即S3模式,施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),产量增幅减小。施肥量由S1增至S5,分别增产4.38%、17.66%、3.45%和1.20%。表明在本试验条件下,适量的增加施氮量有利于复播青储玉米产量的提高,而当施氮量过高时,则对经济产量的提高效果不明显,甚至会造成减产。总的来说,灌水定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的耦合效果最佳,复播青储玉米的产量最高,在实际生产中建议采用S3模式,以期提高复播青储玉米的产量。

3 讨论

本试验条件下,净光合速率呈单峰型,早晨光照强度和温度低,净光合速率也很低,随光照强度的增加,温度的升高,复播青储玉米叶片净光合速率明显提高,不同氮肥处理下均在15:30达到高峰,最高可达到 $42.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,此时光照有效辐射为 $1990 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度为 42.7°C ,大气 CO_2 浓度为 $556.7 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。作物叶片的净光合速率受到光合有效辐射、二氧化碳浓度、气温、相对湿度等多个环境因子以及水分、养分的影响,同时光、温、水、气等生态因子变化又可引起植物生理因子变化,外界环境因子和内在生理因子共同影响作物光合作用特性^[14]。许多研究表明,玉米作为C4植物,其光合日变化一般表现为单峰曲线,不易发生光抑制^[15],本试验结果表明并没有出现午休现象,与前人研究结论一致。在相同灌水定额条件下,复播青储玉米叶片的净光合速率随施氮量的增加而升高;从水分利用效率来看,施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时复播青储玉米叶片的水分利用效率最高。

2.4 不同氮肥处理对复播青储玉米产量的影响

土壤水分状况和施肥量直接影响作物生长发育和作物产量。在一定农田供水条件下,氮肥投入的增加将使作物产量有所提高。试验结果如表3所示。

氮肥在施入土壤后,其转化与运移是十分复杂的物理-化学-生物学的过程。铵态氮是一种有效态氮素,可被植物直接吸收利用,被植物吸收后立即参与含氮有机物的合成^[16]。王西娜等^[17]认为土壤铵态氮的数量不因种植与否而异,只是随时间变化存在高低变化。对矿质态氮而言,主要影响土壤中硝态氮的累积量及其在土壤剖面中的分布,而对铵态氮却无显著影响。不同施肥量处理在灌溉条件、作物生长条件一致的情况下,对不同层次土壤氮含量的积累影响存在显著差异^[18]。本试验与前人的研究结果类似,不同的施氮量下土壤铵态氮含量以表层土壤(0~40 cm)含量最高,其中大量存在于0~20 cm土层,铵态氮进入土壤后,由于铵态氮带有正电荷可以被土壤颗粒所带的负电荷迅速吸附而呈减少的趋势,因而铵态氮的浓度随土层的加深而降低,这与土壤铵态氮易被土壤胶体吸附有关^[19]。在水平方向上,土壤铵态氮氮含量随距离滴灌带间距离的增大逐渐降低,这与王虎等^[20]的研究基本一致。刘小刚等^[21]研究认为高氮处理的氮肥表现利用效率偏低,这与本试验中,土壤铵态氮的总体含量随施氮量的增加先减小后增大的结论一致。其中处理3(施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)下的土壤铵态氮含量最少,说明 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的灌溉定额和 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的施氮量耦合效果有利于复播青储玉米根部对铵态氮的吸收,增加产量,降低铵态氮的挥发损失。旱地土壤硝化作用强烈,被矿化产生的铵态氮很快被转化为硝态氮^[22],本试验只是研究了土壤铵态氮的扩散情况,而硝态氮的扩散情况还有待研究。

在农业生产中,必须强调“以水定产,以肥调水”理论的重要性,水分和养分既是影响旱地农业生产的主要胁迫因子,也是一对联因互补、互相作用的因

子。科学合理确定灌水量和施肥量,充分利用它们之间的耦合效应,才能发挥两者最大的增产效果。本试验一管一行毛管布置模式下总的趋势是产量随供施氮量的增加而增加,但是施氮平达到一定程度后(S3 模式,施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),产量增幅减小,与王久龙^[23]研究认为氮对玉米产量效应呈抛物线性的结论吻合。本试验条件下 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的施氮量为最优施入量。当施入量低于最优施入量时,随着施入量的增加,产量随之增加;到达最优施入量时产量最大,继续加大施入量,产量随之减小,符合报酬递减定律。

当前普遍认为农民大水大肥的管理方式不仅难以达到作物的高产,而且带来了严重的环境问题,增加了作物硝酸盐积累、降低了作物品质,李发永等^[24]认为花铃后期土壤氮素的积累量逐渐增加,这一时期应减少氮肥的施入量,防止土壤微生态环境的变化导致棉花减产。从减氮增效、提高叶片净光合速率与水分利用效率出发,处理 3 的施氮量适中,但是仍然具有较高的叶片净光合速率与水分利用效率,而且复播青储玉米产量最高。因此,处理 3 的水氮耦合效果较为合理,该处理灌溉定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,与前人研究结论相似^[25]。

4 结 论

1) 不同施氮量在一管一行毛管布置模式下复播青储玉米叶片净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的日变化规律相近。综合叶片净光合速率与水分利用效率来看,灌溉定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的水分利用效率最高,而且也具有较高的净光合速率。

2) 五种处理的灌溉定额均为 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,土壤铵态氮的总体含量随施氮量的增加先减小后增大。其中施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下的土壤铵态氮含量最少,说明 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的灌溉定额与 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的施氮量耦合效果有利于复播青储玉米根部对铵态氮的吸收,增加产量,降低铵态氮的挥发损失。

3) 在本试验条件下,一管一行毛管布置模式下灌溉定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的产量最高。

从提高水肥利用效率进而改善水资源对北疆“一年两作”种植模式的限制以及大水大肥对环境的污染角度考虑,实际生产中建议采用灌溉定额 $465 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与施氮量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参 考 文 献:

[1] 王振华,郑旭荣,宋常吉.滴灌对北疆复播油菜耗水和生长的影

响效应[J].核农学报,2014,28(5):919-928.

- [2] 宋常吉.新疆滴灌复播作物需水规律及挂该制度研究[D].石河子:石河子大学,2013.
- [3] Mengel K, Kirby E A. Principles of Plant Nutrition[M]. Bern Switzerland: International Potash Institute,1987:25-112.
- [4] 李生秀,高亚军.施用氮肥对作物茎秆比及各器官氮磷分布影响[J].干旱地区农业研究,1993,11(增刊):113-116.
- [5] 张福锁,陈新平,马文奇.“现代农业”时代谈化肥[J].磷肥与复肥,2013,18(1):1-3.
- [6] 严巧娣,苏培玺.不同土壤水分条件下葡萄叶片光合特性的比较[J].西北植物学报,2005,25(8):1601-1606.
- [7] 樊廷录,杨 珍,王建华,等.灌水时期和灌水量对甘肃河西玉米制种产量和水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):1-6.
- [8] 蒋桂英,刘建国,魏建军,等.灌溉频率对滴灌小麦土壤水分分布及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):38-42.
- [9] Lavelle P, Spain A V. Soil Ecology[M]. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers,2002:1-684.
- [10] 李荣生,许煌灿,尹光天,等.植物水分利用效率的研究进展[J].林业科学研究,2003,16(3):366-371.
- [11] Morgan J A, Daniel R, Lecain, et al. Gas exchange, carbon iso-tope discrimination, and productivity in winter wheat[J]. Crop Science, 1993,33:178-186.
- [12] Wang F L, Alva A K. Ammonium adsorption and desorption insandy soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 2000,64(5):1669-1674.
- [13] 王慧芳,邵明安.含碎石土壤水分入渗试验研究[J].水科学进展,2006,17(5):604-609.
- [14] 郑淑霞,上官周平.8种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J].生态学报,2006,26(4):1080-1087.
- [15] 王建林,齐 华,房全孝,等.水稻、大豆、玉米光合速率的日变化及其对光强响应的滞后效应[J].华北农学报,2007,22(2):119-124.
- [16] 李韵珠,李保国.土壤溶质运移[M].北京:科学出版社,1998:302-304.
- [17] 王西娜,王朝辉,李生秀.种植玉米与休闲对土壤水分和矿质态氮的影响[J].中国农业科学,2006,39(6):1179-1185.
- [18] Ardell D H, Fran C S. Com response to nitrogen fertilization in a soil with high residual nitrogen[J]. Agronomy Journal, 2005,97(4):1222-1229.
- [19] 高忠霞,杨学云,周建武,等.小麦-玉米轮作期间不同施肥处理氮素的淋溶形态及数量[J].农业环境科学学报,2010,29(8):1624-1632.
- [20] 王 虎,王旭东,杨 莹.滴灌施肥条件下土壤铵氮分布规律的研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):51-55.
- [21] 刘小刚,张富仓,杨启良,等.调亏灌溉与氮营养对玉米根区土壤水氮有效性的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):135-141.
- [22] 刘小刚,张富仓,田育丰,等.水氮处理对玉米根区水氮迁移和利用的影响[J].农业工程学报,2008,24(11):19-24.
- [23] 王久龙,王振华,郑旭荣,等.种植模式和施肥量对滴灌青贮玉米水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(4/5):67-70.
- [24] 李发永,王兴鹏,王 龙.微咸水膜下滴灌条件下新疆棉花水肥耦合规律研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):146-151.
- [25] 杨生茂,郭天文.河西绿洲灌区小麦/玉米带田施氮量及其环境效应研究[J].土壤学报,2002,39(增刊):306-311.