

辽宁棕壤土区不同滴灌施氮模式对玉米光合特性、 产量及品质的影响

张凌一, 李波, 魏新光, 姬建梅

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

摘要:为了深入了解滴灌施肥技术在粮食生产中的作用,进一步探寻合理的施氮模式,采用小区试验,以玉米为研究对象,研究了滴灌施肥条件下辽宁棕壤土区不同施氮量和施氮次数对玉米光合特性、产量和品质的影响。试验设置3个施氮量水平(不含底肥): 125 kg/hm²(N125)、175 kg/hm²(N175)和225 kg/hm²(N225),施氮次数设置1次(T1)、2次(T2)和3次(T3)3个水平,另设不施氮处理为对照(CK),总共10个处理。结果表明,在灌水次数相同的条件下,玉米光合能力、产量及品质随施氮量的增加呈增加趋势,施氮量为175和225 kg/hm²时,三者均达到较高水平;当N施量相同时,分期多次施氮较1次施氮能有效地延缓光合作用在玉米生育后期的下降,增加玉米叶片高光合持续期,延缓叶片衰老,提高光能利用率,增产效果显著,有效改善玉米品质。综合分析表明,3次施氮,施氮量175~225 kg/hm²的处理玉米光合作用强,优质高产,是有利于辽宁棕壤土区滴灌条件下大田玉米生产中适宜的施氮模式。

关键词:玉米; 施氮量; 滴灌; 光合特性; 品质

中图分类号:S513.062

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.005

张凌一,李波,魏新光,等. 辽宁棕壤土区不同滴灌施氮模式对玉米光合特性、产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017,36(3):26-31.

0 引言

滴灌施肥是目前效率最高的现代水肥一体化灌溉施肥技术,具有提高水分、养分利用效率,提高作物产量,改善作物品质,促进现代农业可持续发展等诸多优点^[1]。与传统施肥方式相比,滴灌施肥可以有效地控制施肥量、施肥时间和灌水量,尤其可以满足根据作物的营养需求规律进行分期多次施肥^[2]。

氮素作为玉米生长发育过程中需求量最大的矿质元素,对提高玉米产量和品质等有重要作用^[3]。但目前,我国玉米生产中存在氮肥施用过量,施氮方式不合理等问题^[4]。一般大田生产中,农户通常在玉米生育前期一次大量施氮,这种施肥方式极易造成“烧苗”和玉米生育后期的氮素亏缺,导致养分与作物需求不同步,引起叶片早衰,从而造成产量下降^[5]。因而探寻一种科学合理的施氮模式,对促进玉米产业的水肥高效利用具有重要的作用。关义新等^[6]研究表明,在一定范围内,玉米叶片的光合速率与叶片含氮量正相关,氮素供应失调导致光合能力下降,不同光强下植株的物质生产和氮素同化能力均随供氮水平的增加先升后降。曹翠玲等^[7]在研究中指出,氮肥追施几乎影响了光合作用的各个环节,包括叶片叶绿素量、光合速率、暗反应主要酶活性以及光呼吸等,直接或间接影响着光合作用。吕鹏等^[8]研究发现,玉米拔节期一次性施氮较不施氮增产不显著,随着施氮次数的增加产量显著提高,灌浆期施氮可以显著提高籽粒质量,从而提高产量。姜涛等^[9]系统研究了不同氮肥运筹方式对夏玉米产量、品质及植株养分的影响,认为在一定施氮范围内,玉米粗蛋白、粗淀粉和粗脂肪等营养品质指标随氮肥用量的增加而提高,当氮肥用量达到一定数量之

收稿日期:2016-08-22

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201303125)

作者简介:张凌一(1991-),男,硕士研究生,主要从事生态环境及节水灌溉理论和技术研究。E-mail: 625104294@qq.com

通信作者:李波(1969-),女,教授,主要从事生态环境及节水灌溉理论和技术研究。E-mail: liboluck@126.com

后,则不随氮肥用量的增大而增加,甚至有所降低。以往的研究多集中在从施氮量、施氮时间及灌溉量等单方面的因素来寻找最佳的施氮模式,而没有综合考虑协同效应,不利于玉米节水灌溉施肥技术的完善和应用。

通过采用田间小区对比试验,研究辽宁棕壤土区滴灌施肥条件下不同施氮量和施氮次数对玉米光合特性、产量和品质的影响,提出科学的施氮模式,以期提高氮肥利用效率,为充分发挥滴灌施肥技术在玉米增产中的作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2015年4—10月在沈阳农业大学大棚区玉米试验基地进行。该基地地理坐标为41°49′26.26″N, 123°34′00.72″E,海拔55 m,年平均气温为11℃,年平均降水量为574.4~684.8 mm,年平均蒸发量为1300 mm,无霜期为183 d。试验区长100 m,宽20 m,供试土壤为沙性棕壤土,试验地块0~20 cm耕层基础理化性质见表1。

表1 土壤理化性质

| 不同粒径颗粒所占百分比/% | | | 全氮量/ (g·kg ⁻¹) | 全磷量/ (g·kg ⁻¹) | 全钾量/ (g·kg ⁻¹) | 速效氮量/ (mg·kg ⁻¹) | 速效磷量/ (mg·kg ⁻¹) | 速效钾量/ (mg·kg ⁻¹) | 有机质量/ (mg·kg ⁻¹) | pH值 |
|---------------|---------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|
| 2.0~0.02 mm | 0.02~0.002 mm | <0.002 mm | | | | | | | | |
| 64.19 | 27.66 | 8.15 | 3.03 | 3.58 | 23.17 | 201.68 | 372.78 | 635.46 | 33.91 | 7.13 |

1.2 试验设计

试验供试玉米品种为美津599。采用大垄双行种植模式,玉米株距30 cm,相邻2垄间距135 cm,垄上行距45 cm,垄间行距90 cm,垄宽105 cm,垄高15 cm,沟底宽30 cm,种植密度为45000株/hm²(见图1)。播种前精选种子,剔除小粒、批粒、碎粒及病虫粒,选留大小均匀、色泽一致、丰满籽粒作种子,对其进行翻晒连续2个半天,并对试验地块进行对旋耕、翻平耙细和起垄作业,旋耕深度25~30 cm。播种日期为2015年5月1日,播种时根据当地丰产经验一次性施种肥磷酸二铵150 kg/hm²、硫酸钾112.5 kg/hm²、尿素37.5 kg/hm²。播种后在土壤表面喷施除草剂。

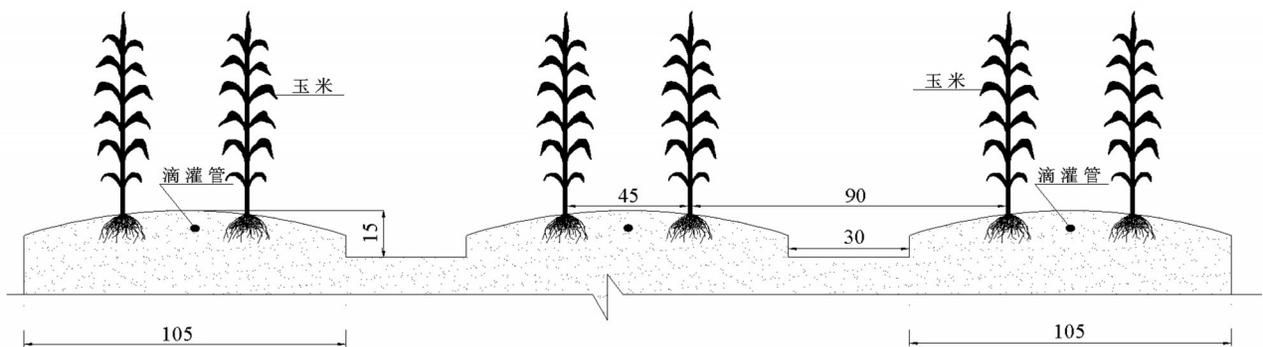


图1 玉米种植方式和滴灌带布置示意图

试验滴灌带选用地埋式滴灌带,0.1 MPa滴头标称流量2.0 L/h,滴灌管直径16 mm,壁厚0.6 mm,滴头间距30 cm。滴灌带埋设地表下3~10 cm处,灌溉施肥更有效,减少水分蒸发,提高水分利用效率^[10]。滴灌带沿玉米行向铺设于垄中间,每条滴灌带控制2行玉米。追肥肥料选取尿素,利用自压式重力施肥桶进行施肥。施肥桶置于自压水源正常水位下,供水管与水源相连接,输液管及阀门与主管道连接,打开施肥桶供水阀,水进入施肥桶将肥料充分溶解,关闭供水阀门,打开施肥桶输液阀,桶中的肥液就自动地随水流输送到灌溉系统中。

相关研究表明,无论是进行田间试验,或者是土壤植株测试,合理的施氮量范围大多数在100~200 kg/hm²之间,推荐施氮量的调节范围大多在100 kg/hm²以内^[11-12]。试验以不同施氮量和施氮次数为试验因素,设置3个施氮量水平(不含底肥):125、175、225 kg/hm²,分别用N125、N175、N225表示;施氮次数设置1、2、3次3个水平,用T1、T2、T3表示。1次施氮处理将设计施氮量在拔节期全部施入,2次和3次施氮处理将设计施氮量平均分成2和3次在拔节期、抽穗期和灌浆期分别施入。按照完全组合试验设计,共9个处理:T1N125、T1N175、T1N225、T2N125、T2N175、T2N225、T3N125、T3N175、T3N225,另设不施氮处理为对照(CK)。总共10个处

理,各处理组合如表2所示,每个处理3个重复,共30个小区,小区尺寸为3 m×8 m,随机排列布置。

表2 试验设计

| 处理 | 施氮量/(kg·hm ²) | | |
|--------|---------------------------|-------|-------|
| | 拔节期 | 抽穗期 | 灌浆期 |
| CK | — | — | — |
| T1N125 | 125 | — | — |
| T1N175 | 175 | — | — |
| T1N225 | 225 | — | — |
| T2N125 | 125/2 | 125/2 | — |
| T2N175 | 175/2 | 175/2 | — |
| T2N225 | 225/2 | 225/2 | — |
| T3N125 | 125/3 | 125/3 | 125/3 |
| T3N175 | 175/3 | 175/3 | 175/3 |
| T3N225 | 225/3 | 225/3 | 225/3 |

1.3 观测内容和方法

光合指标:在拔节期、吐丝期、灌浆期和成熟期分别进行光合指标的测定。光合指标的测定包括:光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂摩尔浓度(C_i),试验使用美国LI-COR公司生产的LI-6400XT型便携式光合测定系统进行活体测定,采用开放气路,测定时间选择在晴天上午9:00—11:00,吐丝期以前测定植株顶端第1枚全展叶,从吐丝期开始测定穗位叶;测定时选取无病虫害、无机械损伤的完整叶片,测定部位为叶片中部,避开中央大叶脉,每个处理3次重复,结果取平均值。

产量和品质:在玉米收获时,每个处理取大垄双行连续各10株玉米,共计20株玉米,考种,测产,产量换算成每公顷产量。待玉米样品测产后在沈阳农业大学农学院利用近红外快速品质分析仪进行品质测定,仪器型号为FOSS INFRATECTM 1241 ANALYZER。测得玉米籽粒的蛋白质、脂肪和淀粉量。

1.4 数据分析方法

所有数据分析运用统计分析软件SPSS19.0,分析图表制作基于Excel和Originpro8.5软件。

2 结果与分析

2.1 不同施氮处理对玉米光合特性的影响

由表3可知,在整个生育期内, P_n 从拔节期开始缓慢升高,到吐丝期达到最大,之后缓慢下降,成熟期达到最低值。当施氮次数一定时,随着施氮量的增加, P_n 均呈上升趋势,但上升趋势不显著($p>0.05$)。当施氮量一定时,T1处理的 P_n 在拔节期均高于T2和T3处理,这可能与T1处理在拔节期追施氮肥较高有关。在吐丝期,T2处理的 P_n 高于T3和T1处理,在灌浆期,T3处理的 P_n 在各处理中最高,同时CK和T1处理的 P_n 均大幅下降,在成熟期,T3处理的 P_n 保持较高水平,分别是T2和T1处理的1.13和1.40倍,说明在灌浆期追施氮肥能有效延缓成熟期光合作用的下降,增加玉米叶片高光合持续期。CK的 P_n 在成熟期达到最低值,且出现了叶片早衰现象,可能由于CK在玉米各生育期内没有追施氮肥,导致玉米生育后期氮素亏缺,随着叶片的衰老,光合作用下降明显。

由表3可知,在全生育期内,玉米叶片气孔导度 G_s 呈单峰曲线变化,从拔节期到吐丝期,各处理叶片 G_s 上升,到吐丝期达到最大值,之后缓慢下降,这与 P_n 基本一致,说明净光合速率与气孔导度之间有很大的相关性。在拔节期, G_s 随着施氮量的提高而增加,说明增施氮肥可以增强玉米叶片前期的光合作用,使 G_s 有所上升,上升趋势不显著($p>0.05$)。从吐丝期开始,各处理间 G_s 出现显著差异,到灌浆期和成熟期,T3处理的 G_s 均高于T2和T1处理,其中T3N175、T3N225处理叶片 G_s 相对较高,CK的叶片 G_s 最低,说明缺氮导致玉米叶片 G_s 一直处于很低水平,而合理的分期施氮可以保持 G_s 长期处于较高水平。

CO₂是光合作用的原料,也是植物光合作用的主要限制因子^[13]。由表3可知,在整个生育期,玉米叶片胞间CO₂摩尔浓度 C_i 呈V字型的变化趋势,从拔节期开始下降,到吐丝期达到最低值,之后又逐渐上升。当施氮次数一定时,玉米叶片 C_i 随施氮量的增加呈降低趋势,例如在吐丝期,3次施氮时,N225处理的 C_i 比N125处理减小16.0%,差异达到显著水平,说明增加施氮量能减小玉米叶片胞间CO₂摩尔浓度。当施氮量一定

时, T1 处理的 C_i 在拔节期低于 T2 和 T3 处理, 较 T2 和 T3 处理分别减小 9.6% 和 17.1%。从灌浆期开始到成熟期, T3 处理的 C_i 均低于 T2 和 T1 处理, 在灌浆期, T3 处理的 C_i 比 T2 和 T1 处理分别减小 12.1% 和 23.7%, 在成熟期, T3 处理的 C_i 比 T2 和 T1 处理分别减小 9.0% 和 25.1%。

表 3 不同施氮处理对玉米光合特性的影响

| 处理 | 生育期 | 净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 气孔导度/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 胞间 CO_2 摩尔 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) | 处理 | 生育期 | 净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 气孔导度/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 胞间 CO_2 摩尔 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) |
|--------|-----|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------|-----|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| CK | | 21.15e | 0.15f | 169.21e | CK | | 17.50e | 0.12e | 183.66e |
| T1N125 | | 29.44b | 0.19bc | 122.41a | T1N125 | | 27.26d | 0.18d | 138.02d |
| T1N175 | | 31.99a | 0.20b | 118.34a | T1N175 | | 27.26d | 0.18d | 136.34d |
| T1N225 | | 32.77a | 0.25a | 118.32a | T1N225 | | 27.81d | 0.25c | 135.32d |
| T2N125 | 拔节 | 27.26bcd | 0.18cd | 135.79bcd | T2N125 | 灌浆 | 31.67c | 0.26bc | 121.25c |
| T2N175 | 期 | 27.81bc | 0.17de | 134.73bc | T2N175 | 期 | 33.10bc | 0.28b | 120.01c |
| T2N225 | | 29.20b | 0.19bc | 126.88ab | T2N225 | | 34.45abc | 0.28b | 114.43bc |
| T3N125 | | 25.18d | 0.15f | 147.61d | T3N125 | | 34.49abc | 0.35a | 109.52bc |
| T3N175 | | 25.59cd | 0.16ef | 140.77cd | T3N175 | | 35.54ab | 0.35a | 105.88ab |
| T3N225 | | 26.56cd | 0.18cd | 144.88cd | T3N225 | | 37.22a | 0.36a | 97.14a |
| CK | | 25.85e | 0.16e | 145.64e | CK | | 13.40e | 0.11e | 180.31d |
| T1N125 | | 33.64d | 0.28d | 115.13d | T1N125 | | 22.47d | 0.15d | 162.23c |
| T1N175 | | 33.75d | 0.30d | 116.52d | T1N175 | | 23.15d | 0.16cd | 160.33c |
| T1N225 | | 34.68cd | 0.35c | 109.54cd | T1N225 | | 23.68d | 0.17c | 152.26c |
| T2N125 | 吐丝 | 39.35ab | 0.37bc | 87.23b | T2N125 | 成熟 | 27.80c | 0.23b | 132.87b |
| T2N175 | 期 | 41.59a | 0.39ab | 77.58a | T2N175 | 期 | 28.59c | 0.24b | 128.43ab |
| T2N225 | | 42.26a | 0.41a | 70.11a | T2N225 | | 29.66bc | 0.24b | 129.32ab |
| T3N125 | | 36.88bcd | 0.36c | 103.13c | T3N125 | | 31.34ab | 0.32a | 121.46ab |
| T3N175 | | 37.37bc | 0.37bc | 100.33c | T3N175 | | 32.67a | 0.32a | 117.41a |
| T3N225 | | 39.42ab | 0.37bc | 86.67b | T3N225 | | 32.99a | 0.33a | 116.56a |

注 同列不同小写字母表示差异达到 5% 显著水平, 下同。

图 2 显示出了净光合速率(P_n)和胞间 CO_2 摩尔浓度(C_i)的关系。由图 2 可以看出, C_i 随着 P_n 的提升而降低, 二者呈负相关关系, 但这种负相关并不能得出净光合速率越高, 胞间 CO_2 摩尔浓度就越低的结论, 可能是由于叶肉细胞光合活性降低, 碳同化过程加速, 使 C_i 随之降低, 空气中的 CO_2 通过气孔向叶肉细胞中补充, G_s 也随之增大, 因此 G_s 变化趋势与 P_n 一致, 这时 P_n 主要是受气孔限制。

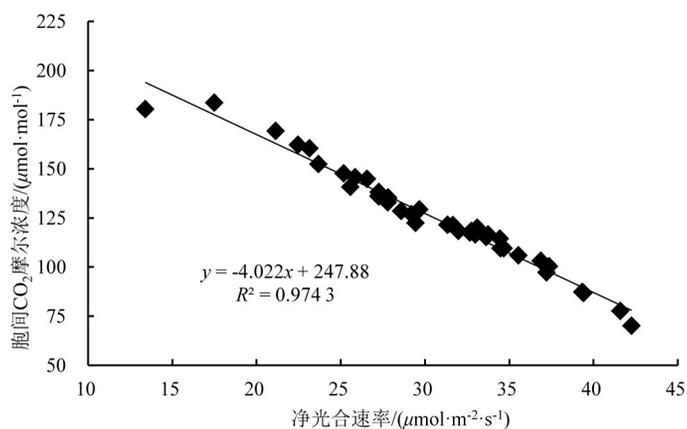


图 2 净光合速率(P_n)和胞间 CO_2 摩尔浓度(C_i)的关系

2.2 不同施氮处理对玉米产量和品质的影响

不同施氮处理玉米产量和品质指标见表 4。由表 4 可以看出, T3N225 处理玉米产量最高, 达到 $14.13 \text{ t}/\text{hm}^2$, 相比差异显著的处理 CK、T1N125、T1N175、T1N225、T2N125、T2N175 及 T3N125 处理产量分别提高了 29.6%、17.3%、14.0%、11.7%、13.1%、10.0% 和 9.9%。当施氮次数一定时, 玉米产量随施氮量的

增加基本呈上升趋势,趋势不显著($p>0.05$),N225处理产量最高,较N175和N125处理平均增产2.9%和6.9%。在相同的施氮量下,3次施氮处理显著提高了产量,T3处理产量比T2和T1处理平均增加了5.4%和9.5%。这说明合理的多次分期施肥能够在生育后期提供玉米生殖生长所需要的养分,进而显著提高玉米产量。而在充足的施氮量下,适宜的施氮次数对玉米的增产效果更加明显。

表4 不同施氮处理对产量和品质的影响

| 处理 | 产量/(t·hm ⁻²) | 蛋白质量/% | 脂肪量/% | 淀粉量/% |
|--------|--------------------------|--------|-------|--------|
| CK | 10.90d | 8.87a | 3.27a | 70.45a |
| T1N125 | 12.05a | 10.33b | 3.40a | 71.10a |
| T2N125 | 12.50ab | 10.18b | 3.37a | 71.20a |
| T3N125 | 12.86ab | 10.46b | 3.41a | 71.65a |
| T1N175 | 12.40a | 10.40b | 3.43a | 71.15a |
| T2N175 | 12.85ab | 9.93b | 3.43a | 71.30a |
| T3N175 | 13.63bc | 10.51b | 3.53a | 72.55a |
| T1N225 | 12.65ab | 10.42b | 3.47a | 71.20a |
| T2N225 | 13.21abc | 10.46b | 3.50a | 72.00a |
| T3N225 | 14.13c | 10.57b | 3.57a | 73.65a |

玉米籽粒的营养品质是指玉米籽粒中所含营养成分及其比例的大小,是反映玉米质量好坏的重要指标。提高籽粒的营养品质,对于提高籽粒的食用、饲用和加工利用价值具有重要意义^[14]。由表4可知,施用氮肥可以增加玉米果实蛋白质、脂肪和淀粉量,但整体差异不明显,三者变化趋势基本一致。当施氮次数一定时,N225处理的玉米蛋白质量比N175和N125处理平均增加2.0%和1.5%;脂肪量平均增加1.4%和3.5%;淀粉量平均增加0.9%和1.4%。在相同的施氮量下,玉米籽粒蛋白质、脂肪和淀粉量随着灌水次数的增加呈增加趋势。T3处理蛋白质量比T2和T1处理平均增加3.2%和1.2%;脂肪量平均增加2.0%和2.0%;淀粉量平均增加1.6%和2.1%。说明在玉米生育后期合理追施氮肥,有利于植株品质的提高,这与鞠正春^[15]的研究结论一致,本试验T2N175处理中蛋白质量较低,这可能与品质测定时选取的样品特殊性有关。

3 讨论与结论

1)光合作用是产量形成的关键,作物90%以上干物质质量来源于光合产物^[16]。施用氮肥对作物生长和光合生产率的提升起到重要作用,通过调节不同的施氮量和施氮次数可以增加叶面积指数,延缓叶片的衰老,延长高光合持续期^[17]。试验分析表明,当施氮次数一定时,增加施氮量可以提高玉米叶片净光合速率和气孔导度,降低胞间CO₂摩尔浓度。当施氮量一定时,1次施氮处理叶片光合能力在玉米生育前期处于较高水平,后期光合作用明显下降。3次施氮较1次施氮能有效地延缓光合能力在玉米生育后期的下降,增加玉米叶片高光合持续期,与前人的研究结果一致^[18]。

2)施氮能改善玉米产量因子,适量的氮肥量和追氮次数能显著改善穗部性状,增加产量^[19]。本试验研究得出,施氮量在125~225 kg/hm²时,玉米产量随施氮量增加呈增加趋势。在相同的施氮量下,T3处理产量比T2和T1处理平均提高了5.4%和9.5%。说明在充足的施氮量下,合理的多次分期施肥能够在生育后期提供玉米生殖生长所需要的养分,增产效果更加明显,这与刘洋等^[20]研究结果相同。

3)有研究指出,施用氮肥能不同程度地增加玉米籽粒蛋白质、脂肪和淀粉量^[21]。在本研究中,与不施氮肥处理相比,增施氮肥能显著提高玉米籽粒蛋白质量,随着施氮量的增加,玉米籽粒蛋白质、脂肪和淀粉量呈增加趋势。当总施氮量一定时,T3处理蛋白质量比T2和T1处理平均增加3.2%和1.2%;脂肪量平均增加2.0%和2.0%;淀粉量平均增加1.6%和2.1%,其原因在于玉米生育后期追氮能够提高根系附近土壤碱解氮质量浓度,有利于根系对氮素的吸收并向籽粒输送,促进玉米籽粒中蛋白质等营养成分的合成。本试验认为合理的施氮量和施氮次数有利于玉米籽粒品质的改善,这与王春虎等^[22]的研究结果吻合。

试验研究内容讨论了不同施氮量和施氮次数对玉米的影响,并没有综合考虑玉米不同生育期的需肥规律,这方面内容有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 王欣. 灌溉施肥一体化对设施番茄产量和水氮利用效率影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [2] 吕双庆. 滴灌施肥条件下玉米(Zea mays L.)氮素运筹效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [3] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4):783-795.
- [4] MA W, LI J, MA L, et al. Nitrogen flow and use efficiency in production and utilization of wheat, rice, and maize in China[J]. Agricultural Systems, 2008, 99(1): 53-63.
- [5] MÜLLER P, LI X P, NIYOGI K K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. [J]. Plant Physiology, 2001, 125(4): 1 558-1 566.
- [6] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合碳、氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(6):806-812.
- [7] 曹翠玲, 李生秀, 杨陵, 等. 氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(5):581-586.
- [8] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮时期对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5):1 099-1 107.
- [9] 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(3):559-565.
- [10] 徐杰, 李从锋, 孟庆锋, 等. 苗期不同滴灌方式对东北春玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(8):1 279-1 286.
- [11] 巨晓棠. 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J]. 土壤学报, 2015(2):249-261.
- [12] 高肖贤, 张华芳, 马文奇, 等. 不同施氮量对夏玉米产量和氮素利用的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(1):121-126.
- [13] 叶子飘, 于强. 光合作用对胞间和大气 CO₂ 响应曲线的比较[J]. 生态学杂志, 2009, 28(11):2 233-2 238.
- [14] 邵书静. 品种、氮肥和种植密度对玉米产量与品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [15] 鞠正春. 施氮量和追氮时期对小麦产量和品质的影响及其生理基础[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
- [16] 景立权, 赵福成, 刘萍, 等. 施氮对超高产夏玉米干物质及光合特性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(2):317-326.
- [17] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(2):576-585.
- [18] 刘亚亮. 氮肥不同比例分期施用对超高产玉米叶片保护酶活性及光合特性的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [19] 王云奇, 陶洪斌, 黄收兵, 等. 施氮模式对夏玉米氮肥利用和产量效益的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(2):219-224.
- [20] 刘洋, 栗岩峰, 李久生. 东北黑土区膜下滴灌施氮管理对玉米生长和产量的影响[J]. 水利学报, 2014(5):529-536.
- [21] 金继运, 何萍, 刘海龙, 等. 氮肥用量对高淀粉玉米和普通玉米吸氮特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 568-573.
- [22] 王春虎, 陈士林, 董娜, 等. 华北平原不同施氮量对玉米产量和品质的影响研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(1):128-131.

Impact of Different Nitrogen Modes on Maize Photosynthetic Characteristics, Yield and Quality under Drip Fertilization in Liaoning Brown Soil Regions

ZHANG Lingyi, LI Bo, WEI Xinguang, JI Jianmei

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to understand the role of drip irrigation fertilization technology in food production and further explore the reasonable nitrogen system, plot experiments were conducted on a brown soil in Liaoning with maize as the research object to investigate the influence of different nitrogen rates and splits on the photosynthetic characteristics, yield and quality of drip-irrigated maize. Ten treatments were designed including three levels of Nitrogen (excluding basal): 125 kg/hm² (N125), 175 kg/hm² (N175) and 225 kg/hm² (N225), 3 levels of Nitrogen application times: 1 (T1), 2 (T2) and 3 times (T3) and no nitrogen process (CK) as the comparison. The results showed that when nitrogen splits were the same, maize photosynthetic capacity, yield and quality showed an increasing trend with the increase of nitrogen application rate, and they were reaching a higher level when nitrogen application rates were 175 and 225 kg/hm²; When nitrogen rates were the same, installment repeatedly nitrogen application effectively delayed photosynthesis decline in corn late childbearing, increased high maize leaf photosynthesis duration, delayed leaf senescence, improved energy efficiency, increased yield significantly and effectively improved the quality of maize. The treatment of 3 nitrogen splits and nitrogen 175~225 kg/hm² was with high photosynthesis capability in leaves and good quality as well as high yield in fruits. So, the treatment was recommended as the best nitrogen application mode for the production of maize under drip irrigation in the brown soil area of Liaoning.

Key words: maize; nitrogen rates; drip irrigation; photosynthetic characteristics; quality

责任编辑: 陆红飞