文章编号：1005-0906(2014)06-0121-05

膜下滴灌春玉米氮素吸收规律与增产效应

朱金龙,危常州,朱齐超,李美宁,张书捷
(石河子大学农学院,新疆 石河子 832000)

摘 要：研究春玉米膜下滴灌条件下氮肥对玉米氮素吸收、干物质积累以及氮肥的增产作用,提出试验条件下的最佳施氮量。结果表明,增加施氮量能够增加膜下滴灌春玉米地上部干物质积累及氮素吸收能力,过量施氮导致干物质及氮素累积降低;玉米产量随着施氮量增加而增加,300 kg/hm²时达到最高产量,此时氮肥农学效率、氮肥利用率以及生理利用率均达到最大。采用二次曲线拟合,计算最佳施氮量为291.80 kg/hm²,此时最高产量为14 964.54 kg/hm²。

关键词：春玉米;滴灌;氮素积累;氮肥效率
中图分类号：S513.071 **文献标识码**：A

Effect of N Absorption and Yield Enhancement on Spring Maize under Drip Irrigation and Film Mulch

ZHU Jin-long, WEI Chang-zhou, ZHU Qi-chao, LI Mei-ning, ZHANG Shu-jie
(*College of Agriculture, Shehezi University, Shihezi* 832000, China)

Abstract: N biomass accumulation and yield enhancement of N application in spring maize under drip irrigation and plastic film mulch cultivation were studied, and also explored an optimal N rate. The results indicated that N application promoted shoot biomass and U uptake, while excess N input reduced biomass and N uptake. Maize yield increased with increasing of N input, 360 kg/ha N application lead to a yield decrease, mainly due to maize grain weight decline. N application of 300 kg/ha produced the highest partial efficiency, agronomy efficiency physiological efficiency and N recovery rate. Fitting N application rate for maize yield with a parabola curve found N maximum rate in this research background was at 291.80 kg/ha, and the highest yield was 14 964.54 kg/ha.

Key words: Spring maize; Drip irrigation; Nitrogen accumulation; Nitrogen fertilizer use efficiency

膜下滴灌技术在新疆的应用已日趋成熟,不仅节水效应突出,而且作物产量也大幅度提高[1～3]。施用氮肥是农业高产高效生产的必要措施,合理施氮能节约经济成本,减少肥料浪费。我国由于人多地少的资源特点,氮肥施肥量高且氮肥的利用效率较低[4]。对于提高氮素利用效率已有很多研究[5～9],一般认为,降低施氮量和通过综合措施提高作物产量是提高氮肥利用率的主要途径[10]。膜下滴灌技术由于水肥耦合、分次追施的特点,氮肥不仅可以通过滴灌系统直接到达作物根系附近便于作物吸收,而且可以根据作物对养分的需求规律,定时定量施肥,避免常规施肥方法中大量肥料用作基肥导致损失量较大,因此肥料利用率比常规灌溉高。膜下滴灌玉米具有明显的增产效应,但是对于膜下滴灌玉米氮素吸收规律及氮肥效率的研究较少。本试验研究膜下滴灌玉米氮素吸收规律及对氮肥效率的影响,并提出最佳氮肥施用量。通过田间控制实验,研究膜下滴灌条件下玉米对氮素的吸收动态和积累规律,为膜下滴灌条件下合理的养分管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2012年4月至8月在新疆石河子大学农学院试验站进行,石河子地区属于大陆干旱气候,冬夏温差大,年平均气温在6.5℃～7.2℃之间,年降水

收稿日期：2014-01-26
基金项目：国家“863”计划项目(2011AA100508)
作者简介：朱金龙(1988-),男,硕士,研究方向为新型肥料与施肥技术。E-mail:1zhujinlong@163.com
危常州为本文通讯作者。
E-mail:changzhouwei@126.com

量为125.0～207.7 mm,无霜期为168～171 d。≥0℃的活动积温为4 023～4 118℃·d,≥10℃的活动积温为3 570～3 729℃·d。

供试品种为SC704,供试肥料为普通尿素(含N 46%)、重过磷酸钙(含P_2O_5 46%)、硫酸钾(含K_2O 50%)。供试土壤为壤土,含有机质19.9 g/kg、碱解氮83.25 mg/kg、速效磷16.68 mg/kg、速效钾168.55 mg/kg,pH值8.3。

1.2 试验设计

试验按施氮量0、240、300、360 kg/hm²设4个处理,分别记做N0、N240、N300、N360,各处理3次重复,随机区组排列。尿素20%作基肥,各处理磷钾肥用量相等并参照大田施肥量,分别为P_2O_5 120 kg/hm²,K_2O 90 kg/hm²,全部基施,在播种前深翻入土。灌水次数、灌水量和每次施肥所占追肥比例参照新疆地方标准DB65/T 3109-2010玉米膜下滴灌水肥管理技术规程,并做了相应改动。试验灌溉施肥如表1所示。小区长10 m,宽3.6 m,每个小区面积36 m²,分2膜共种8行玉米,膜间距为60 cm,每条膜行间距为30 cm-60 cm-30 cm,株距20 cm,理论株数为111 000株/hm²。采用一膜二管四行种植模式,每条地管带设置在行间距为30 cm的两行玉米中间,由一个具有足够动力的地埋式出水桩供水,各处理采用水表控制灌溉量。

表1 试验灌溉施肥设计

Table 1 Experimental designs

处理 Treatment	灌溉、施肥日期 Irrigation and fertilization date									
	5·25	6·04	6·14	6·27	7·09	7·19	7·29	8·07	8·15	8·22
灌水量(m³/km²) Irrigation amount	600	450	450	600	600	600	600	600	450	300
N240(kg/km²)	28.8	28.8	19.2	19.2	19.2	15.4	61.4			
N300(kg/km²)	36.0	36.0	24.0	24.0	24.0	19.2	76.8			
N360(kg/km²)	43.2	43.2	28.8	28.8	28.8	23.0	92.2			
占追肥比例(%) Topdressing proportion	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0	8.0	32.0			

1.3 样品采集和测定方法

在春玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、成熟期取各小区代表性植株,分叶、茎+叶鞘、穗3部分,将采集的植株样在105℃杀青,30 min后在70℃烘箱中烘至恒重,称其干物质积累量。将各时期样品粉碎,用浓H_2SO_4-H_2O_2消煮,采用凯氏定氮仪测氮。在其成熟期每个小区取2行,长4 m的范围进行测产。

1.4 计算公式及统计方法

氮肥利用率(RE_N)=(施肥后作物收获时地上部吸氮总量-未施肥的作物收获时地上部吸氮总量)/化肥氮的施入量;

氮肥偏生产力(PFP_N)=施肥后所获得的作物产量/化肥氮的施入量;

氮肥农学效率(AE_N)=(施肥后所获得作物产量-不施肥条件下的作物产量)/化肥的施入量;

氮肥生理利用率(PE_N)=(施肥后所获得作物产量-不施肥条件下的作物产量)/(施肥后作物收获时地上部吸氮总量-未施肥的作物收获时地上部吸氮总量)。

数据用Excel 2003录入和处理,用SPSS 17.0进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量与干物质积累

施氮处理干物质积累量显著大于不施氮处理(图1)。各生育期干物质积累量随施氮量的增加而增加,当施氮量超过N300处理后干物质累积量开始降低。前期各施氮处理的干物质积累变化不大且无差异。在大喇叭口期,N300处理较N240、N360处理地上部干物质积累影响达到显著差异。各处理吐丝期到灌浆期干物质阶段积累占整个生育期干物质累积量的57.96%～62.45%。

采用logistic曲线拟合干物质积累动态并计算干物质高速累积始期、最大速度积累期、干物质减速积累期以及最大积累速率(表2)。春玉米地上部干物质高速累积始期随着施氮量增加而提前,N360处理的干物质高速累积始期最早,N240处理的高速累积末期最晚;N300处理的地上部干物质最大积累速率最大且出现天数最早。各处理最大积累速率大小依次为N300>N360>N240>N0;最大速度积累期大小依次是N240>N360>N0>N300,说明施氮增加干物质快速累积时间。

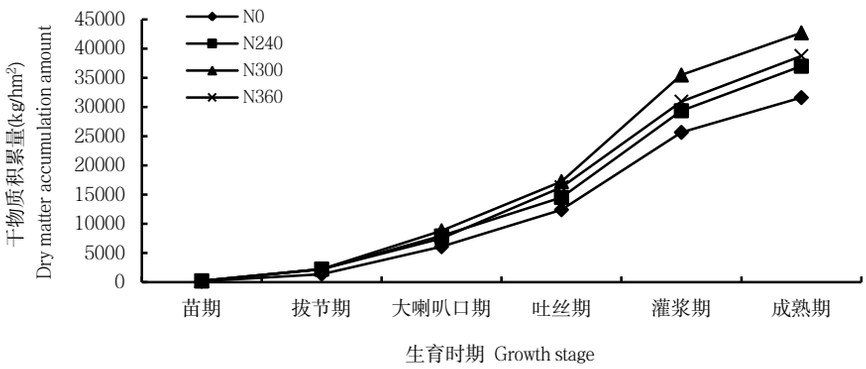

图1　不同施氮处理下春玉米地上部干物质积累动态变化

Fig.1　Dynamic changes of above-ground dry matter accumulation in spring maize plant under different nitrogen application treatments

表2　春玉米地上部干物质积累Logistic方程

Table 2　Logistic equation for above-ground dry matter accumulation of spring maize

处 理 Treatment	拟合方程 Regression equation	t_0 (d)	t_1 (d)	t_2 (d)	$\triangle t$ (d)	V_{max} [kg/(hm²·d)]	R^2
N0	y=32 986.273/(1+e$^{4.942-0.066t}$)	74.9	54.9	94.8	39.9	543.8	0.996
N240	y=39 328.669/(1+e$^{4.576-0.060t}$)	76.3	54.3	98.2	43.9	589. 9	0.995
N300	y=44 428.254/(1+e$^{4.907-0.067t}$)	73.2	53.6	92.9	39.3	744.1	0.996
N360	y=40 299.299/(1+e$^{4.737-0.064t}$)	74.0	53.4	94.6	41.2	644.8	0.996

注:t_0表示干物质减速积累期;t_1、t_2分别表示干物质高速累积始期和末期;$\triangle t$表示最大速度积累期;V_{max}表示最大积累速率;R^2表示决定系数。下表同。

Note: t_0 represent the day of beginning decrease rate, t_1, t_2 represent the beginning peak and final of increase, $\triangle t$ represent the day of rapid accumulation, V_{max} represent the maximum accumulation rate, R^2 represent the coefficient of determination. The same below.

2.2　不同施氮量下玉米氮素吸收累积动态

N0处理的氮素吸收显著小于施氮处理(表3)。从拔节期开始氮素积累量随着施氮量的增加而增加。在吐丝期,到达N300处理就不再增加,随着施氮量继续增加,滴灌玉米氮素积累量下降。苗期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆期各阶段氮素平均吸收量分别占总吸氮量的1.96%、13.31%、20.23%、14.28%、30.73%。滴灌玉米氮素积累出现2个高峰期,即拔节期到大喇叭口期和吐丝期到灌浆期末期,施肥时应侧重这两个生育阶段的氮肥比重。

从表4可以看出,随着施氮量的增加,地上部氮素高速累积始期和末期及氮素最大积累速率时间都随之提前,氮素最大速度积累期也随着施氮量的增加而缩短。氮素最大积累速率N300处理最高,说明该处理下具有较高的氮素累积能力。

表3　不同施氮处理下春玉米地上部氮素积累动态变化

Table 3　Dynamic changes of above-ground N accumulation in spring maize plant under the different nitrogen application treatments　　kg/hm²

处 理 Treatment	苗 期 Seedling	拔节期 Jointing	大喇叭口期 Belling	吐丝期 Silking	灌浆期 Filling	成熟期 Maturing
N0	6.00±0.63 c	38.79±1.67 b	91.37±6.76 c	120.38±6.75 c	210.45±3.18 c	267.80±22.02 c
N240	8.23±0.72 a	65.41±3.08 a	133.64±9.90 b	187.46±10.81 b	308.10±13.92 b	388.37±34.21 b
N300	7.59±1.42 b	63.68±7.43 a	157.09±8.86 a	227.37±5.61 a	361.39±38.16 a	435.75±14.05 a
N360	7.50±0.83 b	64.84±6.08 a	160.16±7.77 a	229.91±20.08 a	347.35±29.02 a	427.77±14.18 a

注:表中同一列不同字母表示处理间5%水平差异显著。下表同。

Note: The different letters of the same column indicated significant at 5% level. The same below.

表4 春玉米地上部氮素积累Logistic方程

Table 4 Logistic equation for above-ground N accumulation of spring maize

处 理 Treatment	拟合方程 Regression equation	t_0 (d)	t_1 (d)	t_2 (d)	$\triangle t$ (d)	V_{max} [kg/(hm²·d)]	R^2
N0	$y=294.197/(1+e^{3.476-0.047t})$	74.0	45.9	102.0	56.0	3.5	0.983
N240	$y=416.884/(1+e^{3.421-0.048t})$	71.3	43.8	98.7	54.9	5.0	0.985
N300	$y=446.416/(1+e^{3.691-0.056t})$	65.9	42.4	89.4	47.0	6.3	0.985
N360	$y=433.587/(1+e^{3.602-0.056t})$	64.3	40.8	87.8	47.0	6.1	0.980

2.3 氮肥的增产作用与最佳施氮量确定

施氮处理可以显著提高春玉米产量(表5),N240、N300、N360处理分别增产20.36%、35.96%和21.60%,相同产量下,施氮能够增加子粒氮素累积。施氮肥显著降低了秃尖长度,但不同施氮处理对秃尖长、穗行数影响不明显;施氮增加了穗长、行粒数和百粒重,但N300处理表现了最大增加幅度,更高的施氮量反而导致这些因子退化。本试验施氮量与玉米产量之间有极显著的二次函数关系,回归方程为 $y=-0.037\ 8x^2+22.06x+11\ 746$ ($R^2=0.839^{**}$),当施氮量为291.80 kg/hm²时,最高产量为14 964.54 kg/hm²。

膜下滴灌玉米氮肥偏生产力(PFP_N)随施氮量的增加显著降低(表6),N240处理显著高于其他处理。氮素农学利用率、氮肥利用率和氮素生理利用率随施氮量增加先增加后降低,N300处理都高于其他处理,说明该处理单位施氮量下表现出最大的增产量,同时说明过量施氮使单位肥料玉米子粒产量增加量降低。

表5 不同施氮处理对春玉米产量及其构成因素的影响

Table 5 Effect of different nitrogen application treatments on yield and yield components in spring maize

处 理 Treatment	穗长(cm) Ear length	秃尖长(cm) Bald length	穗行数(行) Rows	行粒数(粒) Kernels per row	百粒重(g) 100-grain weight	产量(kg/hm²) Yield
N0	18.78 b	1.37 a	14.57 a	39.40 b	26.00 b	11 790.93 c
N240	18.06 b	0.87 b	14.90 a	39.90 b	26.58 ab	14 191.91 b
N300	20.39 a	0.93 b	15.33 a	43.37 a	30.43 a	16 031.46 a
N360	20.40 a	1.07 ab	14.80 a	43.53 a	29.45 ab	14 337.59 b

表6 不同施氮处理对氮素利用效率的影响

Table 6 Effect of different nitrogen application treatments on N use efficiency of spring maize

处 理 Treatment	施氮量(kg/hm²) Fertilizer rate	偏生产力(kg/kg) PFP_N	农学效率(kg/kg) AE_N	氮肥利用率(%) RE_N	生理利用率(kg/kg) PE_N
N240	240	59.13 a	10.00 b	51.35 ab	19.52 ab
N300	300	53.44 b	14.14 a	57.27 a	24.92 a
N360	360	39.83 c	7.07 c	46.00 b	15.49 b

3 结论与讨论

膜下滴灌春玉米地上部干物质积累随着施氮量的增加呈先增加后降低趋势,施氮可以增加干物质累积能力,且使干物质最大速度积累期缩短,过量施氮干物质累积受到抑制。地上部氮素积累随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,这与张玉芹[11]等研究一致。本研究还表明,氮素高速累积始期和末期及氮素最大积累速率时间都随施氮量增加而提前。在出苗后42~93 d是膜下滴灌春玉米干物质快速积累和氮素快速吸收时期,各时期(苗期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆期)氮素吸收比例为1∶7∶10∶7∶15。

玉米覆膜在干旱和半干旱区地区是节水和保温的重要措施[12]。郑险峰[13]等人研究得出,覆膜淹灌下,从拔节期到收获时各生育期的生物量较常规

栽培增加明显,不同施氮处理较对照增产了14.6%~19.7%,高氮处理240 kg/hm²时产量最高,为7 006.00 kg/hm²;该研究还显示玉米子粒含氮量在低氮处理含量最高,说明覆膜淹灌下增加施氮量不利于子粒氮素的累积。李青军[14]等人研究得出,膜下滴灌春玉米施氮增加了玉米干物质和氮素吸收量,处理间吸氮量差异显著,当施氮量为281.25 kg/hm²时,最大产量为18 362.00 kg/hm²。膜下滴灌玉米产量普遍高于膜下淹灌,可能是因为膜下滴灌下水肥少量多次增加了养分利用率且减少养分淋洗。本研究得出,膜下滴灌增加施氮量可以增加玉米穗长、行粒数和百粒重,使其产量增加,过量施氮会降低百粒重导致产量降低。增氮导致氮肥偏生产力降低,氮肥利用效率、农学效率和生理利用率随着施氮量增加先增加后降低。试验地位于热量资源足够、土壤条件中等肥力的北疆,通过对不同施氮水平下产量进行方程拟合,得出最佳施氮量291.80 kg/hm²时,最高产量为14 964.54 kg/hm²。

参考文献:

[1] Suat S, Ahmet E, Ibrahim G, et al. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon(Cucumis melo L.)[J]. Agricultural Water Management, 2007, 88(1): 269-274.

[2] Metin S S, Attila Y, Salim E. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper[J]. Agricultural Water Management, 2006, 81(1): 115-131.

[3] 孙文涛,孙占祥,王聪翔,等. 滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J]. 中国农业科学,2006,39(3):563-568.
Sun W T, Sun Z X, Wang C X, et al. Coupling effect of water and fertilizer on maizemaize yield under drip fertigation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(3): 563-568. (in Chinese)

[4] 郑　伟,何　萍,高　强,等. 施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):301-309.
Zheng W, He P, Gao Q, et al. Effect of napplication on nitrogen absorption and utilization of apring maize under different soil fertilities [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 301-309. (in Chinese)

[5] 李玉英,宋玉伟,程　序,等. 施氮对灌漠土春玉米干物质积累和氮素吸收利用动态的影响[J]. 中国农业大学学报,2009,14(1):61-65.
Li Y Y, Song Y W, Cheng X, et al. Impact of nitrogen application on the dynamics of dry matter accumulation and nitrogen absorption and utilization of spring maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(1): 61-65. (in Chinese)

[6] 王永军,王空军,董树亭,等. 氮肥用量、时期对墨西哥玉米产量及饲用营养品质的影响[J]. 中国农业科学,2005, 38(3):492-497.
Wang Y J, Wang K J, Dong S T, et al. Effects of different nitrogen application strategies on yield and forage nutritive quality of zea mexicana[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(3): 492-497. (in Chinese)

[7] 赵　营,同延安,赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量,氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 土壤肥料,2006(2):30-33.
Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effect of different Nrates on yield of summer maize,fertilizer N recovery and N balance[J]. Soil Fertilizer, 2006(2): 30-33. (in Chinese)

[8] 郭红梅,王宏庭,王　斌,等. 氮肥运筹对春玉米产量及经济效益的影响[J]. 山西农业科学,2008,36(1):67-70.
Guo H M, Wang H T, Wang B, et al. Influence of the distribution of nitrogen fertilizer applied on maize yield and net income[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008, 36(1): 67-70. (in Chinese)

[9] 迟继胜,李　杰,黄丽芬,等. 施肥量对玉米产量和肥料利用率的影响[J]. 杂粮作物,2007,27(2):140-141.
Chi J S, Li J, Huang L F, et al. Effects of fertilizer on maize yield and fertilizer use efficiency[J]. Rain Fed Crops, 2007, 27(2): 140-142. (in Chinese)

[10] 米国华,陈范骏,春　亮,等. 玉米氮高效品种的生物学特征[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):155-159.
Mi G H, Chen F J, Chun L, et al. Biological characteristics of nitrogen efficient maize genotypes[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 155-159. (in Chinese)

[11] 张玉芹,高聚林,杨恒山,等. 高产栽培下施氮水平对春玉米氮素吸收与利用的影响[J]. 玉米科学,2011,19(3):121-125.
Zhang Y Q, Gao J L, Yang H S, et al. Effects of nitrogen application levels on nitrogen absorption and utilization of spring maize under the high yieldcultivation[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(3): 121-125. (in Chinese)

[12] 谢志良,田长彦. 膜下滴灌水氮耦合对棉花干物质积累和氮素吸收及水氮利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1):160-165.
Xie Z L, Tian C Y. Coupling effects of water and nitrogen on dry matter accumulation, nitrogen uptake and water-nitrogen use efficiency of cotton under mulched drip irrigation[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(1): 160-165. (in Chinese)

[13] 郑险峰,周建斌,王春阳,等. 覆盖措施对夏玉米生长和养分吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,27(1):160-165.
Zheng X F, Zhou J B, Wang C Y, et al. Effects of different mulching methods on the growth and nutrients absorption of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 27(1): 160-165. (in Chinese)

[14] 李青军,张　炎,胡　伟,等. 氮素运筹对玉米干物质积累、氮素吸收分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):755-760.
Li Q J, Zhang Y, Hu W, et al. Effects of nitrogen management on maize dry matter accumulation,nitrogen uptake and distribution and maize yield[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 755-760. (in Chinese)

(责任编辑:高　阳)