

滴灌施氮对东北春玉米物质生产、转运及氮素利用效率的影响

张磊, 孔丽丽, 侯云鹏*, 李素琴*

(农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室/吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033)

摘要:为探究吉林省西部半干旱区滴灌施肥条件下氮肥合理施用问题,通过连续两年(2017~2018年)田间试验,研究了覆膜滴灌条件下不同氮肥用量(0, 70, 140, 210, 280, 350 kg/hm²)对玉米产量、干物质积累、转运及氮肥利用效率的影响。结果表明:施氮处理玉米产量显著高于不施氮肥处理($P<0.05$),且均表现为随施氮量的增加先增后降,其中以施氮量210 kg/hm²处理玉米产量最高。与不施氮肥处理相比,施氮显著提高了玉米干物质积累量,其中灌浆期至成熟期干物质积累量以施氮量210 kg/hm²处理最高。Logistic方程解析表明,施氮显著提高了玉米干物质最大增长速率和干物质平均增加速率,提高幅度依次为5.4%~20.0%、13.9%~42.7%(2017年)和8.9%~25.7%、10.1%~40.2%(2018年),其中以施氮量210 kg/hm²处理玉米干物质最大增长速率和干物质平均增加速率最高,而不同施氮处理间干物质最大积累速率出现天数差异不显著($P>0.05$)。干物质转运量、干物质转运对籽粒贡献率和花后光合产物输入籽粒量在施氮量70~210 kg/hm²范围内随施氮量的增加而增加,当施氮量超过这一范围,干物质转运量、干物质转运对籽粒贡献率和花后光合产物输入籽粒量呈下降趋势。氮素吸收利用率、农学利用率和偏生产力均随施氮量的增加呈下降趋势。综上所述,在吉林省西部地区覆膜滴灌条件下,氮肥施入量为210 kg/hm²,有利于玉米物质生产、转运保持在较高水平,进而达到高产的生产目的。

关键词:滴灌;施氮量;春玉米;产量;氮素利用效率

中图分类号:S147.22;S158.3

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2020)06-0068-06

Effect of Drip Nitrogen Fertigation on Dry Matter Production, Translocation and Nitrogen Utilization of Spring Maize in Northeast China

ZHANG Lei, KONG Lili, HOU Yunpeng*, LI Suqin*

(Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China/Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to explore reasonable application rates of nitrogen under drip irrigation in the western semi-arid region of Jilin Province, the field experiment for continuous two years (2017~2018) was studied the effects of different nitrogen application rates (0, 70, 140, 210, 280, 350 kg/ha) on maize yield, dry matter accumulation, translocation and nitrogen utilization efficiency under drip irrigation. The results showed that maize yield under nitrogen application treatments were significantly higher than no nitrogen treatment ($P<0.05$). The maize yield increased with at first and decreased later with increasing of nitrogen application rate, and the highest value was at 210 kg/ha of nitrogen fertilizer application. Compared with no nitrogen treatment, nitrogen application increased the dry matter accumulation significantly, and the highest value was supplied with 210 kg/ha of nitrogen application rate from filling stage to maturing stage. Logistic regression equation indicated that nitrogen application improved the maximum increase rate and average increase rate of the dry matter in maize population, with the increment by 5.4%~20.0%, 13.9%~42.7% (2017) and 8.9%~25.7%, 10.1%~40.2% (2018), respectively. And the highest values arrived at 210 kg/ha of nitrogen fertilizer application. There was no significant difference on the days of maximum accumulation

收稿日期:2019-05-07

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300604);国家科技支撑计划(2013BAD07B02、2013BAD07B14);吉林省科技基础条件与平台建设计划(20160623030TC);农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室开放基金(KLPN201801-02)

作者简介:张磊(1986-),男,助理研究员,主要从事植物营养与作物高效施肥方面研究。

通讯作者:侯云鹏,男,副研究员,E-mail: exceedfhwfha@163.com

李素琴,女,副研究员,E-mail: 690832746@qq.com

rate of the dry matter among different nitrogen application treatments ($P>0.05$). The amounts of dry matter translocation, contribution rate of translocation to kernels and the transfer amount from photosynthetic product for grain after flowering under applying nitrogen fertilizer increased with the increment of nitrogen fertilizer application among 70~210 kg/ha, then decreased with increasing of nitrogen application rate. Recovery efficiency, agronomic efficiency and partial factor productivity of nitrogen all decreased with the increasing of nitrogen application rate. In conclusion, the appropriate amount of nitrogen fertilizer was at 210 kg/ha under drip irrigation in the western region of Jilin Province in order to realize high yield and keep higher levels on dry matter production and translocation of spring maize.

Key words: Drip irrigation; Nitrogen application rate; Spring maize; Yield; Nitrogen utilization

吉林省西部地区耕地面积占吉林省总耕地面积的1/3以上^[1],是吉林省玉米主产区之一。该地区气候干燥、降雨稀少、潜在蒸发大,属于半干旱气候,水分短缺是限制该区域农田生产的主要限制因子^[2]。玉米覆膜滴灌技术是将覆膜种植和滴灌相结合的一种栽培技术,能够在提高地温和减少水分蒸发的同时,利用滴灌控制水分、养分供给,进而明显提高作物对水分和肥料的利用效率^[3-4],实现了节水、节肥、高效和增产的目标。大量研究表明,覆膜滴灌栽培模式下,由于土壤中水热环境、养分转化运移过程等方面发生变化,使农田土壤养分特别是氮素的转化、吸收利用过程与常规栽培模式存在显著差异^[5-8]。然而近年来虽然覆膜滴灌技术已被广泛用于吉林省半干旱区玉米生产,但农民仍沿用传统栽培方式,大量施用氮肥。不仅导致肥料利用效率低^[9],氮素损失量大^[10],同时还导致土壤无机氮淋洗过多,严重污染地表水和地下水^[11-12],造成农业面源污染^[13]。因此,明确覆膜滴灌栽培模式下氮肥的适宜用量已成为吉林省西部半干旱地区玉米生产中亟待解决的问题。前人针对施氮对作物产量、氮素吸收利用及无机氮积累进行了大量研究,宋金鑫等^[4]研究表明,氮肥有助于玉米的生长,但是过量施用氮肥可能会抑制植株的生长发育,从而影响产量形成。同时当氮肥过量供应时,还会导致氮积累量呈下降趋势^[15-16]。目前关于滴灌施氮对玉米物质积累特征的影响研究多集于中西北地区^[17-18],而关于东北滴灌施肥条件下玉米不同生育期干物质积累、转运及分配特征的研究较少。鉴于此,本研究通过连续两年试验,对不同氮肥用量下春玉米产量、干物质积累、转运及分配特征进行研究,并分析春玉米不同生育阶段物质积累、转运量与产量间的关系,明确东北半干旱地区覆膜滴灌条件下最佳的氮肥用量,以期对玉米节肥

增产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于2017~2018年在吉林省西部地区乾安县父子村进行,该区域属温带大陆性季风气候,年平均气温4.6℃,平均日照时数2 866 h,平均降雨量420.6 mm,年蒸发量1 874.6 mm,无霜期145 d,全年积温3 200℃·d。试验地种植制度为玉米连作。土壤类型为淡黑钙土,试验起始时0~20 cm土壤有机质17.69 g/kg,水解性氮108.74 mg/kg,有效磷25.47 mg/kg,速效钾101.57 mg/kg, pH 7.91。

1.2 试验设计

试验共设置0、70、140、210、280、350 kg/hm² 6个施氮水平,分别用N0、N1、N2、N3、N4和N5表示。氮肥(尿素,含N 46%)施用方法按本小组在该区域于2015~2016年开展滴灌条件下氮肥不同运筹模式研究确定的氮肥最佳施用时期及比例施入(基肥:拔节期:大口期:抽雄期:灌浆期=20%:30%:20%:20%:10%)^[5],追施氮肥随水滴施。所有处理的磷、钾肥用量相同,分别为80 kg/hm²(重过磷酸钙,含P₂O₅ 46%)和100 kg/hm²(氯化钾,含K₂O 60%)。均于播种前基施。

试验小区面积60 m²,重复3次,随机区组排列。两年供试玉米品种均为翔玉998,种植密度75 000株/hm²。采用大垄双行覆膜栽培模式,相邻两垄间距130 cm,垄上行距40 cm,垄间行距90 cm,地膜宽度120 cm。2017年和2018年的玉米种植日期分别为5月6日和5月10日。覆膜与铺设滴灌带同步进行。滴灌带铺设于大垄中间,每条滴灌带浇灌2行玉米。不同处理用水表控制同等灌水量。试验水源采用地下井水,每小区配备独立施肥罐,试验选用18 L压差式施肥罐,施肥开始前按各小区所需氮肥分别加入各小区施肥罐,将施肥罐充满水,充分搅拌,使其完全溶解,施肥

前先滴清水 30 min,然后打开施肥阀施肥,施肥时间为 120 min,施肥后继续滴清水 30 min。两年均在 10 月 5 日收获,其它田间管理按生产田进行。

1.3 测定项目与方法

植株干物质:于玉米 V3(苗期)、V6(拔节期)、V12(大口期)、VT(开花期)、R2(灌浆期)和 R6(成熟期)采集植株样本,每小区采取有代表性玉米 6 株(苗期取 20 株),于 105℃杀青 30 min 后,80℃烘干至恒重,计算干物质积累量。

采用 Logistic 方程 $Y=K/(1+ae^{-bt})$ 拟合玉米干物质增长过程中最大干物质增长速率及其出现的天数。式中 Y 为干物质积累量,t 为时间(d),a、b 为待定参数,K 为干物质积累量理论最大值。对拟合方程求导数,可得 $Y_{max}=-k \times b/4$,对应时间为 $t_{max}=-\ln a/b$, $k/(1+a)$ 相当于曲线的截距。

干物质转运量(kg/hm^2)=开花期营养体干重-成熟期营养体干重

花后同化物输入籽粒量(kg/hm^2)=成熟期籽粒干重-物质转运量

干物质转运对籽粒贡献率(%)=[(开花期营养体积累量-成熟期营养体积累量)/成熟期玉米籽粒干物质积累量] $\times 100$

花后同化物积累对籽粒贡献率(%)=[1-(开花期营养体积累量-成熟期营养体积累量)/成熟期玉米籽粒干物质积累量] $\times 100$

氮素吸收利用率(%)=[(收获期施氮区作物地上部吸氮量-不施氮区作物地上部吸氮量)/施氮量] $\times 100$

氮素农学利用率(kg/kg)=(施氮区作物产量-不施氮区作物产量)/施氮量

氮素偏生产力(kg/kg)=施氮区作物产量/施氮量

1.4 数据统计与分析

数据采用 Microsoft Excel 2013 整理汇总,使用 SPSS 17.0 统计分析软件进行单因素分析,采用 LSD 法比较处理间在 $P=0.05$ 水平上的差异显著性,并拟合 Logistic 方程及检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同施氮处理玉米产量、收获指数及其构成因素比较

由表 1 可知,与不施氮肥处理相比,各施氮处理玉米产量显著增加($P<0.05$),且在施氮量 0~210 kg/hm^2 范围内,玉米产量随施氮量的增加显著增加。当施氮量增加至 280 kg/hm^2 和 350 kg/hm^2 时,玉米产量呈下降趋势,但差异未达显著水平($P>0.05$)。施氮处理显著提高了玉米穗粒数和百粒重,且随施氮量的增加呈先增后降趋势,其中以施氮量 210 kg/hm^2 处理玉米穗粒数和百粒重最高,而不同施氮处理玉米收获指数无显著性差异。

表 1 不同施氮处理玉米产量及其构成因素

年份	处理	产量(kg/hm^2)	穗数(个/ hm^2)	穗粒数(粒)	百粒重(g)	收获指数
2017	N0	7 910d	73 791a	422.3d	26.8c	0.49a
	N1	9 497c	73 544a	459.1c	27.7bc	0.51a
	N2	10 895b	73 123a	519.6b	29.6ab	0.51a
	N3	12 028a	73 790a	549.9a	30.9a	0.49a
	N4	11 926ab	73 724a	535.6ab	30.8a	0.52a
2018	N5	11 595ab	73 954a	532.1ab	30.2a	0.48a
	N0	7 203d	73 791a	370.4d	27.3d	0.49a
	N1	8 693c	73 544a	382.2c	30.4b	0.51a
	N2	9 789b	73 123a	432.5b	31.6ab	0.51a
	N3	11 156a	73 790a	455.2a	33.7a	0.50a
	N4	10 974a	73 724a	451.0a	32.9ab	0.50a
	N5	10 453a	73 954a	447.5a	31.7ab	0.50a

注:同列数据后不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著,下同

2.2 不同施氮处理玉米干物质积累动态差异

由图 1 可知,玉米苗期至拔节期各处理玉米群体干物质质量增加缓慢,拔节期至灌浆期各处理玉米群体干物质质量快速增加,灌浆期至成熟期增加缓慢,并在成熟期达到峰值。与不施氮肥处理

(N0)相比,不同施氮处理各生育期群体干物质质量均显著提高($P<0.05$),其中 2017 年提高幅度依次为 10.2%~19.6%(V3)、14.0%~62.4%(V6)、11.5%~31.5%(V12)、14.4%~37.2%(VT)、11.4%~26.4%(R2)、15.5%~39.1%(R6);2018 年提高

幅度依次为 13.2%~19.7% (V3)、14.0%~50.2% (V6)、12.2%~44.4% (V12)、10.8%~35.5% (VT)、10.4%~34.7% (R2)、13.4%~41.6% (R6)。在不同施氮处理中,苗期至开花期,群体干物质质量随施氮量的增加而增加,以施氮量 350 kg/hm²处理最高;灌浆期至成熟期施氮量在 70~210 kg/hm²范围内群体干物质质量随施氮量的增加显著增加,当施氮量超

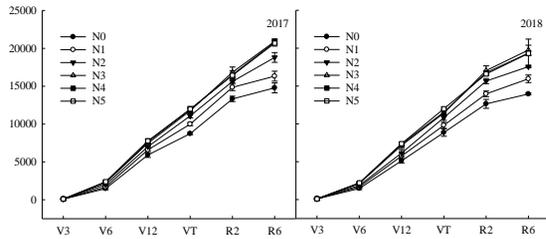


图1 不同施氮处理干物质积累动态变化

过这一范围,群体干物质质量呈下降趋势。

由表2可知,不同施氮处理干物质积累可用 Logistic 回归方程较好地拟合($R^2=0.991\sim 0.998$)。与不施氮处理相比,施氮显著提高了干物质最大增长速率和干物质平均增长速率($P<0.05$),提高幅度依次为 5.4%~20.0%、13.9%~42.7% (2017年)和 8.9%~25.7%、10.1%~40.2% (2018年)。干物质最大增长速率和平均增长速率在施氮量 0~210 kg/hm²范围内随施氮量的增加而增加,当施氮量增加至 280 kg/hm²,干物质最大增长速率和干物质平均增长速率呈下降趋势。从干物质最大增长速率出现时间来看,不同施氮处理间无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 不同施氮处理玉米籽粒干物质来源

表2 不同施氮处理玉米干物质积累速率的 Logistic 方程回归分析

年份	处理	回归方程	R^2	最大增长速率 (kg·d/hm ²)	最大增长速率出现天数 (d)	平均增长速率 (kg·d/hm ²)
2017	N0	$Y=14\ 696.906/(1+e^{154.114-0.069x})$	0.993	253.5e	73.0a	101.4d
	N1	$Y=16\ 188.341/(1+e^{174.069-0.066x})$	0.991	267.1d	78.2a	111.6c
	N2	$Y=18\ 365.540/(1+e^{119.853-0.062x})$	0.994	284.7c	77.2a	126.7b
	N3	$Y=20\ 625.029/(1+e^{93.423-0.059x})$	0.996	304.2a	76.9a	142.2a
	N4	$Y=20\ 402.719/(1+e^{86.502-0.058x})$	0.995	295.8ab	76.9a	140.7a
	N5	$Y=20\ 208.081/(1+e^{84.744-0.058x})$	0.998	293.0b	76.5a	139.4a
2018	N0	$Y=13\ 911.408/(1+e^{174.058-0.067x})$	0.996	233.0e	77.0a	93.4d
	N1	$Y=15\ 860.516/(1+e^{141.342-0.064x})$	0.995	253.8d	77.4a	106.4c
	N2	$Y=17\ 536.975/(1+e^{150.037-0.061x})$	0.998	267.4c	82.1a	117.7b
	N3	$Y=19\ 855.974/(1+e^{108.190-0.059x})$	0.992	292.9a	79.4a	133.3a
	N4	$Y=19\ 336.870/(1+e^{110.800-0.060x})$	0.994	290.1ab	78.5a	129.8a
	N5	$Y=19\ 091.775/(1+e^{114.387-0.060x})$	0.996	281.6b	80.3a	128.1a

表3显示,与不施氮肥处理相比,施氮显著提高了干物质转运量、干物质转运对籽粒的贡献率和花后光合产物输入籽粒量,较不施氮肥处理依次提高 12.9%~115.7%、7.8%~35.7%、11.5%~46.6% (2017)和 27.3%~108.2%、9.3%~38.0%、14.2%~42.1% (2018)。在施氮量 0~210 kg/hm²范围内干物质转运量、干物质转运对籽粒的贡献

率和花后光合产物输入籽粒量随施氮量的增加而增加,当施氮量超过这一范围,干物质转运量、干物质转运对籽粒的贡献率和花后光合产物输入籽粒量呈下降趋势。而不同施氮处理花后光合产物输入对籽粒贡献率间无显著差异($P>0.05$)。

2.4 不同施氮处理氮肥利用效率差异

表3 不同施氮处理玉米籽粒干物质来源

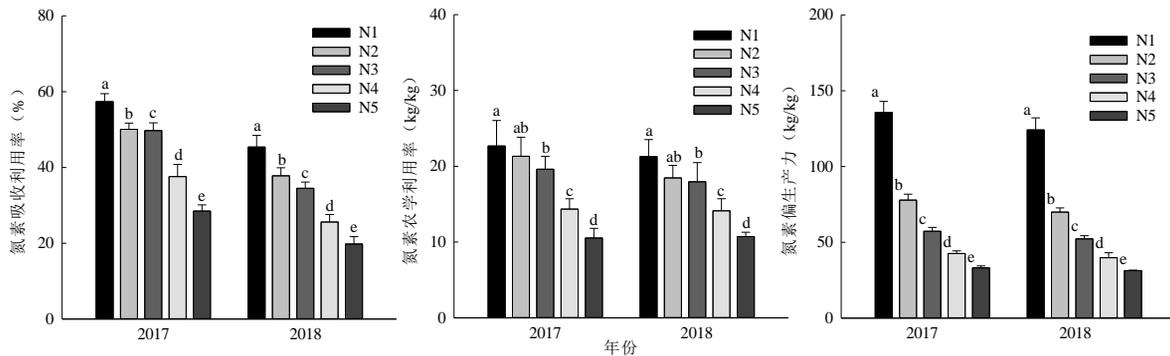
年份	处理	干物质转运		花后光合产物输入籽粒量	
		转运量(kg/hm ²)	对籽粒贡献率(%)	输入量(kg/hm ²)	对籽粒贡献率(%)
2017	N0	782.6d	11.5d	6 020.7d	88.5a
	N1	883.0c	13.6b	6 711.6c	86.4a
	N2	1 215.0b	13.7b	7 553.0b	86.3a
	N3	1 687.7a	15.6a	8 829.7a	84.4a
	N4	1 524.2a	14.3ab	8 761.5a	85.7a
	N5	1 255.5b	12.4c	8 503.2a	87.6a

续表 3

年份	处理	干物质转运		花后光合产物输入籽粒量	
		转运量(kg/hm ²)	对籽粒贡献率(%)	输入量(kg/hm ²)	对籽粒贡献率(%)
2018	N0	606.9e	10.8d	5 588.7d	89.2a
	N1	820.7d	11.8c	6 512.0c	88.2a
	N2	1 021.0c	13.1b	7 111.6b	86.9a
	N3	1 453.6a	14.9a	8 328.0a	85.1a
	N4	1 340.8a	14.6a	8 253.4a	85.4a
	N5	1 232.0ab	14.2ab	8 188.9a	85.8a

由图 2 可知,氮肥吸收利用率、农学利用率和偏生产力随施氮量的增加均表现为下降趋势。

3 讨论与结论



注:柱上不同字母表示在5%水平上差异显著

图 2 不同施氮处理氮肥利用效率

吉林省西部半干旱区水资源短缺程度非常突出,将滴灌施肥与玉米种植相结合是契合区域特征与作物生长要求的栽培措施^[19]。本试验在吉林省西部地区覆膜滴灌条件下进行,施氮量为 210 kg/hm²时玉米产量达到最高水平,当施氮量超过这一用量,玉米产量呈下降趋势。说明在玉米覆膜滴灌栽培模式下,210 kg/hm²氮素供应量能够满足玉米在该区域生长发育所需的养分条件,促进干物质积累,进而提高产量^[20]。而继续增施氮肥会使根际土壤微生物氮含量下降,抑制后期植株吸收养分的能力,进而使作物产量下降^[21],这与魏淑丽和易镇邪的研究结果一致^[22-23]。魏廷邦等^[24]指出,干物质是作物光合作用产物的最高形式,其积累量与作物产量密切相关。而相关研究表明,增施氮肥能够显著提高作物干物质最大积累速率和干物质平均积累速率,进而提高干物质积累^[15]。本研究结果也表明,施氮处理干物质最大积累速率和干物质平均积累速率均显著高于不施氮肥处理。其主要原因在于施氮增加了叶绿素和可溶性蛋白含量,增强了硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的活性,减少了丙二醛含量,延缓了叶片衰老^[25],从而提高了干物质积累。在玉米营养

生长阶段干物质积累随施氮总量的增加而增加,在玉米生殖生长阶段,施氮量 30~210 kg/hm²范围内随施氮量的增加而增加,当施氮量超过 210 kg/hm²,干物质积累量呈下降趋势。其主要原因是过量施氮导致玉米生育后期内源激素平衡受到破坏,氧自由基清除能力降低^[26],从而造成玉米生育后期干物质积累量的降低。

作物籽粒形成的物质主要来源于作物花前营养体转运和花后光合产物的积累^[27]。本研究表明,施氮处理显著提高了干物质转运量和花后光合产物积累量,并随施氮量的增加先增后降。说明适宜的氮肥用量在提高花前光合产物转运的同时促进花后光合产物的积累,而氮肥施用不足或过量均会抑制花前花后光合产物向籽粒的输入。

氮素施入量的调整势必会反映到氮素吸收利用率的变化中^[21],本研究结果表明,氮素吸收利用率、农学效率偏生产力均以施氮量 70 kg/hm²处理最高,且随着施氮量的增加而降低。而本研究中,低施氮量处理虽然氮肥利用效率较高,但其玉米产量却显著低于施氮量 210 kg/hm²处理。在当前生产水平条件下,较高的氮肥利用效率并不能获得理想的玉米产量。因此,协调产量和氮肥

利用率之间的矛盾,应在保证玉米高产的前提下,提高氮肥利用效率,进而降低肥料的损失。

参考文献:

- [1] 吉林省统计局.吉林统计年鉴 2018[M].北京:中国统计出版社,2019:235-238.
- [2] 杨晓晨,明博,陶洪斌,等.中国东北春玉米区干旱时空分布特征及其对产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(6):758-767.
- [3] 戚迎龙,史海滨,李瑞平,等.滴灌水肥一体化条件下覆膜对玉米生长及土壤水肥热的影响[J].农业工程学报,2019,35(5):99-110.
- [4] Gao Y, Xie Y, Jiang H, et al. Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching[J]. Field Crops Research, 2014, 156: 40-47.
- [5] 侯云鹏,孔丽丽,李前,等.覆膜滴灌条件下氮肥运筹对玉米氮素吸收利用和土壤无机氮含量的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(9):1378-1387.
- [6] Wang C, Wan S, Xing X, et al. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(5): 1101-1110.
- [7] 杜雄,边秀举,张维宏,等.华北农牧交错区饲用玉米覆膜和施氮的效应研究[J].中国农业科学,2007,40(6):1206-1213.
- [8] 陈小莉,李世清,王瑞军,等.半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):652-658.
- [9] Fang Q, Ma L, Yu Q, et al. Irrigation strategies to improve the water use efficiency of wheat-maize double cropping systems in North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(8): 1165-1174.
- [10] 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.
- [11] 张庆忠,陈欣,沈善敏.农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J].应用生态学报,2002,13(2):233-238.
- [12] 吴金水,郭胜利,党廷辉.半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J].生态学报,2003,23(10):2040-2042.
- [13] 张丽娟,马友华,王桂苓,等.农业面源污染中农田氮污染危害及其防治措施[J].农业环境与发展,2010,10(4):48-52.
- [14] 宋金鑫,谷岩,于寒,等.覆膜和氮肥施用量对滴灌玉米生长发育及产量的影响[J].分子植物育种,2019,17(21):7251-7255.
- [15] 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.
- [16] 侯云鹏,尹彩侠,孔丽丽,等.氮肥对吉林春玉米产量、农学效率和氮养分平衡的影响[J].中国土壤与肥料,2016(6):93-98.
- [17] 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.
- [18] 邹海洋,张富仓,张雨新,等.适宜滴灌施肥量促进河西春玉米根系生长提高产量[J].农业工程学报,2017,33(21):145-155.
- [19] 赵炳南,朱凤文,杨威,等.吉林省西部半干旱区玉米节水高产高效研究[J].中国农业资源与区划,2011,32(1):69-72.
- [20] 宋航,杨艳,周卫霞,等.光、氮及其互作对玉米光合特性与物质生产的影响[J].玉米科学,2017,25(1):121-126.
- [21] 薛亮,马忠明,杜少平,等.氮素用量对膜下滴灌甜瓜产量以及氮素平衡、硝态氮累积的影响[J].中国农业科学,2019,52(4):690-700.
- [22] 魏淑丽,王志刚,于晓芳,等.施氮量和密度互作对玉米产量和氮肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(3):382-391.
- [23] 易镇邪,王璞,屠乃美.夏播玉米根系分布与含氮量对氮肥类型与施氮量的响应[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):91-98.
- [24] 魏廷邦,胡发龙,赵财,等.氮肥后移对绿洲灌区玉米干物质积累和产量构成的调控效应[J].中国农业科学,2017,50(15):2916-2927.
- [25] 耿计彪,张民,马强,等.控释氮肥对棉花叶片生理特性和产量的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):267-271.
- [26] 何萍,金继运.氮钾营养对春玉米叶片衰老过程中激素变化与活性氧代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):289-296.
- [27] 侯云鹏,杨建,孔丽丽,等.不同施磷水平对春玉米产量、养分吸收及转运的影响[J].玉米科学,2017,25(3):123-130.
- (责任编辑:刘洪霞)
-
- (上接第 58 页)
- [13] 杨明贺,朱旭,李楠,等.马铃薯茎段高频再生体系的建立[J].东北农业科学,2019,44(1):57-62.
- [14] 赵春波,宋述尧,张传伟,等.不同品种马铃薯品质分析与评价[J].东北农业科学,2011,36(4):58-60.
- [15] 韩忠才,张胜利,徐飞,等.雾培马铃薯产量性状相关性分析[J].东北农业科学,2018,43(6):36-39.
- (责任编辑:王丝语)