

不同栽培模式下东北春玉米产量与肥料效率的差异

杨建, 侯云鹏*, 刘志全*, 尹彩侠, 孔丽丽, 李前

(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, 长春 130033)

摘要: 2016~2018年在吉林省公主岭市和乾安县进行田间试验, 设置高产高效栽培模式(OPT)和农户栽培模式(FP), 并分别设置减氮(OPT-N、FP-N)、减磷(OPT-P、FP-P)和减钾(OPT-K、FP-K)处理。系统研究玉米产量、干物质和养分积累分配特征以及肥料利用效率等对不同栽培模式的响应。结果表明, (1)OPT模式在较FP模式减施氮、磷、钾肥23.1%、38.0%、18.2%(公主岭)和8.3%、28.6%、13.0%(乾安)的条件下, 玉米产量平均提高9.6%(公主岭)和14.3%(乾安)。(2)与FP模式相比, OPT模式显著提高了玉米吐丝期至成熟期的群体干物质和氮、磷、钾积累量。(3)OPT模式较FP模式显著提高玉米氮、磷、钾利用效率, 氮、磷、钾吸收利用率平均增加49.2%、64.3%、42.1%(公主岭)和28.5%、46.7%、55.9%(乾安), 农学利用率平均增加75.1%、115.1%、50.9%(公主岭)和46.2%、113.9%、79.5%(乾安)。(4)综上所述, 通过增加种植密度、优化氮、磷、钾用量及分期调控等管理措施, 保证玉米吐丝期后对养分的需求, 可实现东北地区玉米产量和效率的协同提升。

关键词: 春玉米; 产量; 高产高效栽培模式; 农户模式; 肥料利用效率

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)05-0033-05

The Variances of Yield, Nutrient Accumulation and Fertilizer Utilization Efficiency under Different Cultivation Modes of Spring Maize in the Northeastern Region of China

YANG Jian, HOU Yunpeng*, LIU Zhiquan*, YIN Caixia, KONG Lili, LI Qian

(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: The field experiments were carried out in Gongzhuling city and Qian'an county of Jilin province from 2016 to 2018. Two modes including high-yield and high-efficiency cultivation (OPT) and farmers' practice cultivation (FP) were comprehensively set up. And there were applied with nitrogen reduction fertilizer (OPT-N, FP-N), phosphorus reduction fertilizer (OPT-P, FP-P), and potassium reduction fertilizer (OPT-K, FP-K) treatments. The responses of maize yield, dry matter and nutrient accumulation and distribution characteristics and fertilizer utilization efficiency to different cultivation patterns were systematically studied. The results showed that: (1) The maize yields of OPT mode were increased by 9.6% (Gongzhuling city) and 14.3% (Qian'an county) than FP mode, respectively. While the nitrogen, phosphorus and potassium application rates of OPT mode decreased by 23.1%, 38.0%, 18.2% (Gongzhuling city) and 8.3%, 28.6%, 13.0% (Qian'an county) than FP mode, respectively. (2) Compared with FP mode, OPT mode significantly increased dry matter and nitrogen, phosphorus and potassium accumulations of maize population, and increased the distribution proportion from silking time to maturing stage. (3) OPT mode significantly increased nitrogen, phosphorus and potassium utilization efficiency of maize than FP mode. In conclusion, by increasing the planting density, optimizing the use of nitrogen, phosphorus, potassium and other management measures to ensure the demands for nutrients after silking time, the maize yield and efficiency in northeast China can be synergistic improved.

收稿日期: 2019-03-16

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0300604); 农业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: 杨建(1979-), 女, 助理研究员, 从事农业资源高效利用研究。

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

刘志全, 男, 硕士, 研究员, E-mail: 26571927@qq.com

Key words: Spring maize; Yield; High-yield and high-efficiency cultivation; Rural family model; Fertilizer utilization efficiency

东北是我国最大的玉米产区,常年种植面积约15 732万 hm^2 ,总产量为10 335万t左右,分别占全国玉米种植面积的37.3%和总产量的40.2%^[1],对保障国家粮食安全具有重要作用。但在东北农田玉米生产中,往往采取“高投入-高产出”的生产模式来维持较高的产量水平^[2]。此模式下,在产量提升的同时,不仅造成肥料利用效率显著下降^[3],并且引发如水体的富营养化、地下水中硝酸盐污染、土壤板结和酸化、温室效应等一系列的环境污染问题^[4-6],严重影响农业、社会和生态的可持续发展。如何协同提高玉米产量、肥料利用效率及降低环境风险已成为当前研究的重点。前人从筛选养分高效品种、优化群体结构和养分管理等农学措施对玉米高产高效形成机制开展了较多研究。张茜^[7]研究表明,氮高效玉米品种可提高叶片硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)和可溶性蛋白含量,使生育后期物质生产与养分转运维持在较高水平,进而提高产量和氮肥利用效率。肖万欣等^[8]认为,适宜增加种植密度可提高玉米光、温、水资源的利用效率,通过协调穗数、穗粒数和粒重的关系,依靠群体发挥增产潜力;侯云鹏等^[9]提出的氮肥30%基施、50%拔节期和20%吐丝期施入,磷、钾肥作基肥一次性基施的东北雨养区玉米高产施肥技术,较传统施肥模式显著提高了玉米产量和肥料利用效率。但这些研究多侧重于某一种管理措施或者单一的因素对春玉米增产增效的影响,种植模式和养分管理的系统技术集成为与优化研究较少。本研究应用高产高效栽培模式,在我国东北春玉米种植体系中采用包括优化施肥量、氮肥后移,提高种植密度等措施,通过三年定位试验,对玉米产量及构成因素、养分吸收与分配和肥料利用效率等参数测定,量化不同栽培模式下玉米产量的效率差,以期为玉米产量和资源利用效率的协同提高提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于2016~2018年在吉林省公主岭市刘房子村(以下简称为公主岭)和乾安县四父村(以下简称为乾安)进行。公主岭市位于吉林省中部地区,年均气温 5.6°C ,降雨量594.8 mm,无霜期144 d,属中温带半湿润区,土壤类型为黑土;乾安县位于吉林省西部地区,年均气温 5.2°C ,降雨量

425.8 mm,无霜期146 d,属中温带半干旱区,土壤类型为淡黑钙土;公主岭和乾安试验区0~20 cm土壤基础养分状况:有机质含量分别为21.64 g/kg和18.35 g/kg,无机氮含量分别为19.27 mg/kg和16.89 mg/kg,有效磷含量分别为15.61 mg/kg和14.28 mg/kg,速效钾含量分别为84.23 mg/kg和97.62 mg/kg,pH值分别为6.53和6.92。

1.2 试验设计

两个试验点均采用定位试验,分别设置农户栽培(FP)和高产高效栽培(OPT)两种模式,设不施氮(OPT-N、FP-N)、不施磷(OPT-P、FP-P)和不施钾(OPT-K、FP-K)处理用于计算肥料利用效率。不同模式玉米种植密度、肥料用量及各时期施肥比例见表1。公主岭试验点采用雨养(无灌溉)模式,乾安试验点采用地膜覆盖滴灌施肥。试验用氮、磷、钾肥分别为尿素(N 46%)、磷酸一铵(P_2O_5 61%;N 12%)和氯化钾(K_2O 60%)。供试玉米品种为农华101,小区面积为 60 m^2 ,重复3次,随机区组设计。公主岭和乾安试验区2016、2017和2018年玉米种植日期分别为5月1日、5月4日、5月7日和5月6日、5月8日、5月5日,收获日期分别为10月4日、9月30日、10月2日和10月9日、10月5日、10月8日。其他田间管理均按当地生产田管理方式进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品采集

于玉米吐丝期和成熟期每个处理采集长势一致的植株6株,分为茎秆和籽粒两部分, 105°C 杀青30 min, 80°C 烘干至恒重,称干重后粉碎,采用硫酸-双氧水消煮,钼锑抗比色法测定全磷含量,火焰光度法测定全钾含量。

1.3.2 相关计算方法

收获指数(Harvest index, HI)=籽粒产量/地上部生物量,氮(磷、钾)素吸收利用率(%)=[(施肥区)植株地上部吸氮(磷、钾)量-减氮(磷、钾)区植株地上部吸氮(磷、钾)量]/施氮(磷、钾)量 $\times 100$,氮(磷、钾)素农学利用率(kg/kg)=[施肥区作物产量-不施氮(磷、钾)区作物产量]/施氮(磷、钾)量。

1.4 数据处理与分析

采用Excel进行数据处理,SAS 9.0软件进行两因素(年份和栽培处理)方差分析,LSD-test法进行多重比较,SigmaPlot 14.0软件制图。

表 1 不同处理种植密度及肥料运筹

地点	处理	种植密度 (株/hm ²)	肥料种类	用量 (kg/hm ²)	播种期 (kg/hm ²)	拔节期 (kg/hm ²)	大口期 (kg/hm ²)	吐丝期 (kg/hm ²)
公主岭	FP	55 000	N	260	260	—	—	—
			P ₂ O ₅	129	140	—	—	—
			K ₂ O	110	100	—	—	—
	OPT	65 000	N	200	60	100	—	40
			P ₂ O ₅	80	80	—	—	—
			K ₂ O	90	90	—	—	—
乾安	FP	60 000	N	240	120	120	—	—
			P ₂ O ₅	126	126	—	—	—
			K ₂ O	115	115	—	—	—
	OPT	75 000	N	220	44	88	44	44
			P ₂ O ₅	90	36	18	18	20
			K ₂ O	100	40	40	20	—

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式玉米产量与构成因素

由表 2 可知,与 FP 处理相比,OPT 处理玉米产

量提高幅度均达显著水平($P<0.05$),公主岭试验点增产幅度在 8.5% ~ 11.0%,平均增幅为 9.6%,乾安试验点增产幅度 12.9% ~ 15.8%,平均增幅 14.3%,不同栽培模式下收获指数间差异不显著

表 2 不同栽培模式玉米产量与构成因素

年份	处理	公主岭					乾安				
		产量 (kg/hm ²)	收获指数	穗数 (个/60 m ²)	穗粒数	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)	收获指数	穗数 (个/60 m ²)	穗粒数	百粒重 (g)
2016	FP	10 352b	0.49a	323b	579.7a	32.2a	11 392b	0.49a	354b	566.7a	33.8a
	OPT	11 229a	0.51a	381a	562.2a	31.3a	12 996a	0.51a	446a	558.2a	31.6a
2017	FP	11 026b	0.49a	326b	586.3a	33.8a	11 426b	0.49a	351b	586.7a	32.8a
	OPT	12 039a	0.50a	386a	579.6a	32.5a	13 239a	0.51a	438a	575.8a	31.5a
2018	FP	10 579b	0.49a	327b	572.1a	33.9a	10 963b	0.49a	358b	578.4a	32.1a
	OPT	11 743a	0.51a	384a	567.8a	32.1a	12 379a	0.51a	451a	562.2a	30.6a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

($P>0.05$)。产量构成中,与 FP 处理相比,OPT 处理收获穗数显著增加($P<0.05$),穗粒数和百粒重差异未达显著水平($P>0.05$)。

2.2 不同栽培模式玉米地上部干物质质量积累的差异

不同栽培模式玉米地上部干物质积累量在不同年份间均表现出一致的趋势(图 1),在玉米吐丝期前不同栽培模式间差异不达显著($P>0.05$)。

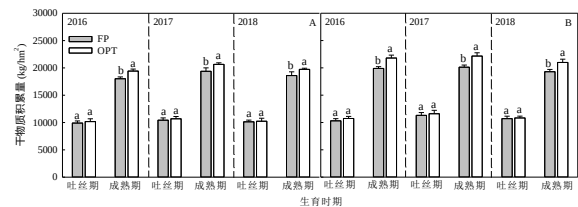


图 1 不同栽培模式公主岭(A)和乾安(B)玉米地上部干物质积累量

成熟期地上部干物质积累量则表现为 OPT 处理显著高于 FP 处理($P<0.05$),公主岭试验点提高幅度 5.5% ~ 6.1%,平均增幅 5.9%;乾安试验点提高幅度为 8.8% ~ 10.2%,平均增幅 9.5%。

2.3 不同栽培模式玉米地上部群体氮、磷、钾积累的差异

由图 2 可知,不同年份间均表现一致,在玉米吐丝期前不同栽培模式间差异未达显著水平($P>0.05$),全成熟期地上部氮、磷、钾积累量则表现为 OPT 处理显著高于 FP 处理($P<0.05$),其中公主岭试验点氮、磷、钾积累量提高幅度依次为 10.1% ~ 12.9%、13.5% ~ 16.7% 和 6.1% ~ 7.7%,平均增幅依次为 11.3%、15.3% 和 7.0%,乾安试验点氮、磷、钾积累量提高幅度依次为 10.2% ~ 13.5%、19.7% ~ 23.9% 和 10.3% ~ 13.9%,平均增幅依次为 12.2%、22.0% 和 12.1%。

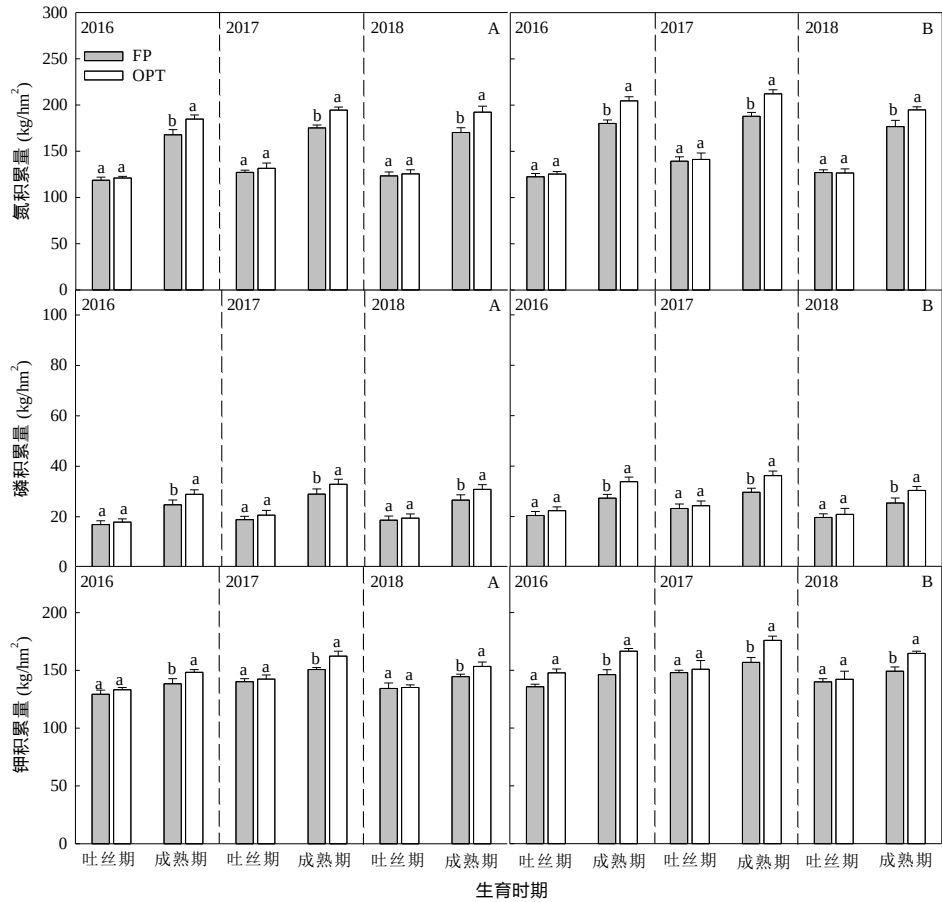


图2 不同栽培模式公主岭(A)和乾安(B)玉米氮、磷、钾积累

2.4 不同栽培模式下玉米氮、磷、钾肥利用效率差异

不同栽培模式下玉米氮、磷、钾肥利用效率结果表明(图3),栽培模式对玉米氮、磷、钾吸收利

用率和农学利用率均影响显著。与FP处理相比,OPT处理玉米氮、磷、钾吸收利用率和农学利用率的提高幅度均达显著水平($P<0.05$)。

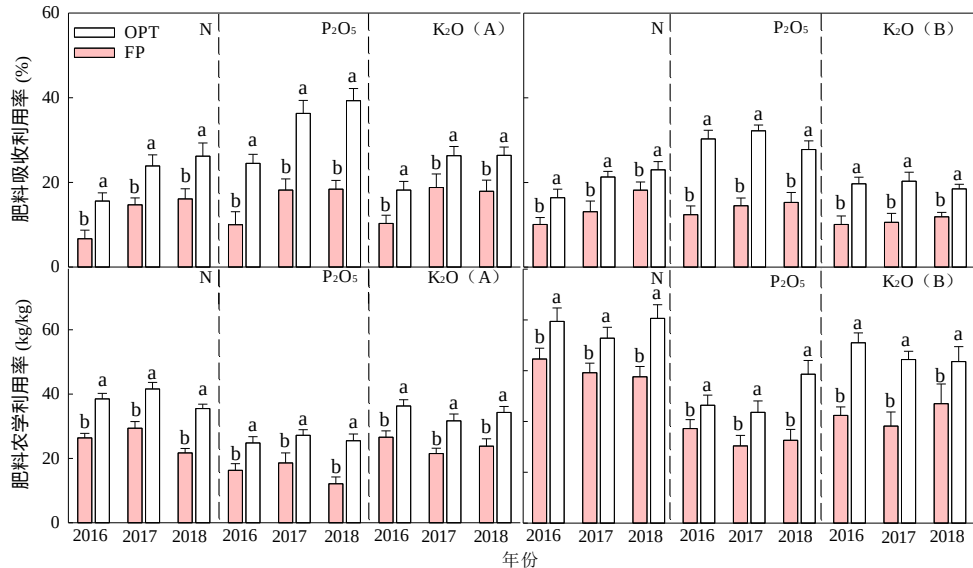


图3 不同栽培模式公主岭(A)和乾安(B)玉米肥料利用效率

3 讨论与结论

一般来说,随着种植密度增加,玉米穗粒数和粒重呈下降趋势^[10-11],而在本研究中,综合优化栽

培管理较农户模式在显著增加玉米穗数同时,穗粒数和百粒重与之无显著差异($P>0.05$)。说明综合优化栽培管理通过合理密植构建良好群体结构,充分利用光热资源,提高玉米群体物质生产

能力^[12-13],同时通过合理的肥料运筹模式,促进了光合产物向穗部转运,使库容(穗粒数)和充实度(粒重)维持在较高水平^[14],进而提高玉米产量。而农户模式前期过量施氮仅有利于营养器官的增加,忽视后期施氮则降低了穗粒结构的发育^[15]。氮肥在玉米生育前期过多会导致作物氮素吸收过程中消耗大量光合产物用于蛋白质合成,影响碳水化合物在营养器官的累积和向穗部转运^[16-17],使玉米穗粒数和粒重下降,影响产量。

着重加强玉米吐丝期后的养分管理,进一步提高生育后期物质积累和养分吸收是获得高产的关键^[17]。氮肥后移可改善玉米生育后期叶片光合性能,增强吐丝期后叶片净光合速率和蒸腾速率,提高玉米的光合势和叶面积指数,促进吐丝期后物质生产和养分吸收,终获得高产^[18]。与农户模式相比,综合优化管理模式玉米吐丝期前干物质和氮、磷、钾积累量差异不显著($P<0.05$),但显著提高了吐丝期后玉米干物质和氮、磷、钾积累量。其原因在于保证玉米营养生长阶段(苗期至吐丝期)养分供应的前提下,适当增加吐丝期后养分供应,可提高作物生育后期叶片中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的含量^[19],使叶片的光合作用持续期延长^[20],促进吐丝期后干物质和氮、磷、钾养分积累和籽粒灌浆,最终提高产量。

综合优化管理模式相对于农户模式平均增产9.6%(公主岭)和14.3%(乾安)的同时,氮、磷、钾吸收利用率和农学利用率显著提高,说明农户模式下由于过多的肥料投入以及不当的施肥方法,使大部分肥料损失于环境中,增加了环境风险。

综上所述,在东北春玉米连作体系下,农户栽培模式存在种植密度过低,氮、磷、钾肥用量偏高,施用方式不当等问题,而高产高效栽培模式通过适宜增密,优化氮、磷、钾用量及氮肥分期调控等管理措施,可保证玉米整个生育期尤其是后期对氮、磷、钾养分的需求,进而实现玉米产量与肥料利用效率的协同提高。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018: 10.
- [2] 王立春, 王永军, 边少锋, 等. 吉林省玉米高产高效绿色发展的理论与实践[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(4): 383-392.
- [3] 张磊, 王立春, 孔丽丽, 等. 不同施肥模式下春玉米养分

吸收利用和土壤养分平衡研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(5): 1169-1176.

- [4] 董强, 吴得峰, 党廷辉, 等. 黄土高原南部不同减氮模式对春玉米产量及土壤硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 856-863.
- [5] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus[J]. Science, 2009, 323: 1014-1015.
- [6] Oita A, Malik A, Kanemoto K, et al. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade[J]. Nature Geoscience, 2016, 9: 111-115.
- [7] 张茜. 施氮对不同品种玉米叶片酶活性、根系特征及产量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [8] 肖万欣, 刘晶, 史磊, 等. 氮密互作对不同株型玉米形态、光合性能及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3690-3701.
- [9] 侯云鹏, 孔丽丽, 杨建, 等. 氮肥运筹对春玉米产量、养分吸收和转运的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(4): 137-143.
- [10] 赵阳佳, 王晔, 张震东, 等. 种植密度与施氮量对春玉米产量和品质的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 17-20, 67.
- [11] 侯云鹏, 孔丽丽, 蔡红光, 等. 东北半干旱区滴灌施肥条件下高产玉米干物质与养分的积累分配特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(20): 3559-3572.
- [12] 魏廷邦, 柴强, 王伟民, 等. 水氮耦合及种植密度对绿洲灌区玉米光合作用和干物质积累特征的调控效应[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 428-444.
- [13] 王玉雯, 郭九信, 孔亚丽, 等. 氮肥优化管理协同实现水稻高产和氮肥高效[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1157-1166.
- [14] 赵洪祥, 曹敏建, 边少锋, 等. 氮肥运筹对雨养条件下春玉米农艺性状影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(4): 115-120.
- [15] 王丽妍, 杨成林, 徐惠凤. 氮肥运筹对寒地水稻生长及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(5): 15-19.
- [16] 苟志文, 胡发龙, 赵财, 等. 氮肥后移满足绿洲灌区全膜覆盖玉米的氮素需求[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 888-895.
- [17] 王洪章, 刘鹏, 贾绪存, 等. 不同栽培管理条件下夏玉米产量与肥料利用效率的差异解析[J]. 作物学报, 2019, 45(10): 1544-1553.
- [18] 武文明, 王世济, 陈洪俭, 等. 氮肥后移促进受渍夏玉米根系形态恢复和提高花后光合性能[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(7): 1008-1015.
- [19] 张吉旺, 王空军, 胡昌浩, 等. 施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1337-1342.
- [20] 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.

(责任编辑: 王昱)