

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.03.005

单德鑫, 孙萌芮, 刘霄, 等. 黑龙江春玉米最佳施氮方式的研究. 土壤, 2020, 52(3): 458–463.

黑龙江春玉米最佳施氮方式的研究^①

单德鑫^{1,2}, 孙萌芮¹, 刘霄¹, 徐振轩¹, 刘璐¹, 高佳楠¹

(1 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2 重庆文理学院园林与生命科学学院/特色植物研究院, 重庆永川 402160)

摘要: 以“乐玉一号”玉米品种为试验材料, 探究了不施氮处理(T1)、100% 基施尿素处理(T2)、基追比 1 : 1 施尿素处理(T3)、37.5% 尿素+62.5% 控释尿素配施处理(T4)、70% 尿素+30% 有机无机复混肥配施处理(T5)、37.5% 尿素+30% 有机无机复混肥+32.5% 控释尿素配施处理(T6)对土壤各养分利用、玉米氮磷钾养分吸收、玉米产量及其构成因素以及氮肥利用率的影响, 从而找出了黑龙江省春玉米最佳施氮方式。除 T1 处理外, T6 处理土壤中铵态氮、硝态氮含量在成熟期均最低; 除拔节期外, 3 个时期 T6 处理玉米叶片、茎秆的氮积累量及干物质量均最高; 其产量为 11 428 kg/hm², 增产率为 24.82%, 氮肥农学效率及氮肥偏生产力均最高。因此, 黑龙江省春玉米生长所需的最佳施氮方式为 37.5% 尿素+30% 有机无机复混肥+32.5% 控释尿素配施。

关键词: 玉米; 施氮方式; 养分含量; 产量

中图分类号: 210.2080 **文献标志码:** A

Study on Optimum Nitrogen Fertilization Method of Spring Maize in Heilongjiang

SHAN Dexin^{1,2}, SUN Mengrui¹, LIU Xiao¹, XU Zhenxuan¹, LIU Lu¹, GAO Jianan¹

(1 College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2 College of Landscape Architecture and Life Science/Institute of Special Plants, Chongqing University of Arts and Sciences, Yongchuan, Chongqing 402160, China)

Abstract: In this study, the corn variety of Leyu No.1 was used as the experimental material, 6 treatments were designed which include T1, no nitrogen; T2, 100% base urea; T3, 100% urea with 1 : 1 ratio of base fertilizer to topdressing; T4, 37.5 % urea + 62.5% controlled release urea; T5, 70% urea+30% organic-inorganic compound fertilizer; T6, 37.5% urea+30% organic-inorganic compound fertilizer+32.5% controlled release urea, and then the effects of above treatments on soil nutrient utilization, the uptake of nitrogen, phosphorus and potassium by maize, maize yield and its components, and nitrogen use efficiency of maize were investigated in order to find the optimal nitrogen application method for spring maize in Heilongjiang. The results showed that for T6 treatment, the contents of soil ammonium nitrogen and nitrate nitrogen were the lowest except T1 at the maturity stage, nitrogen accumulation and dry matter weight of corn leaves and stalks were the highest in the other three periods except the jointing stage, corn yield was 11 428 kg/hm², increased by 24.82% compared with T1, and the agronomic efficiency and the partial productivity of nitrogen fertilizer both were the highest. In conclusion, T6 was the optimal nitrogen application method for spring maize growth in Heilongjiang.

Key words: Corn; Nitrogen fertilization method; Nutrient content; Yield

我国是粮食大国, 玉米在我国农业生产中具有重要地位^[1]。作为我国三大作物之一, 玉米为我国在解决温饱、保障粮食安全和饲料安全及缓解能源危机等方面发挥了重要作用^[2]。黑龙江省作为重要的粮食生产基地, 其肥沃的黑土资源和良好的气候环境为玉米提供了有利的生长条件。

近年来, 各地区在玉米施肥模式上存在很大的问

题。在施肥过程中往往存在施化肥为主, 几乎不施用有机肥^[3-6]; 重氮肥, 轻磷、钾肥及其他微量元素的施入。这不仅会导致肥料利用率的降低^[7], 还会引起玉米产量下降^[8]、土壤肥力损失^[9]及养分资源浪费等一系列问题, 甚至化肥的过量施用还会对环境造成一定程度的污染。随着控释肥料的出现, 以上部分问题得以解决。许多研究发现, 控释肥料代替普通尿素出

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0300503)资助。

作者简介: 单德鑫(1975—), 男, 黑龙江桦南人, 博士, 副教授, 主要研究方向为“三废”处理与资源化利用。E-mail: shandexin@neau.edu.cn

现, 在提高作物生育期内氮肥利用率^[10]的同时, 能够降低氮肥的挥发和淋溶带来的损失^[11]。因此, 有机肥料和控释肥料的合理配施可改善土壤不良特性及其可持续利用率^[12], 还可以节约施肥成本, 提高氮素利用效率^[13]。随着玉米种植面积的扩增, 土壤中大部分养分被作物吸收, 却未得到及时得补给, 这使得对作物高产有较大影响的土壤养分限制因子序位发生了变化^[14]。因此, 兼顾生态环境效益的同时, 找寻玉米的最佳产量和经济效益, 是我国农业生产持续关注的重要问题^[15]。

本试验以黑龙江春玉米为研究对象, 在较为客观

了解黑龙江玉米主产区施肥现状和存在问题的基础上, 利用田间小区试验研究不同氮肥管理措施对土壤养分变化, 玉米干物质积累、养分吸收、产量、养分利用效率的影响, 以期找出在东北春玉米上氮肥的增效途径和模式, 为肥料合理施用提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验田位于黑龙江省哈尔滨市香坊区农大试验基地——向阳农场(126°54'36.778"E, 45°46'17.96"N), 土壤为黑土, 其基本理化性质见表1。

表1 向阳农场土壤基本理化性质
Table 1 Basic physiochemical properties of soil in Xiangyang Farm

土壤类型	pH	含水率(%)	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
黑土	6.96	8.69	14.74	214.67	41.76	180.33

1.2 供试作物

供试作物为玉米, 品种为乐玉一号。

1.3 试验设计

本试验氮肥选用尿素(含 N 464 g/kg)、有机无机复混肥(含 N 15 g/kg, P₂O₅ 100 g/kg, K₂O 50 g/kg)、

控释尿素(含 N 462 g/kg; 控释期为 4 个月); 磷肥选用磷酸二铵(含 P₂O₅ 460 g/kg, N 180 g/kg); 钾肥选用硫酸钾(含 K₂O 500 g/kg)。试验中固定 P₂O₅ 和 K₂O 用量均为 75 kg/hm², 根据养分含量计算肥料实物量。试验处理及养分用量如表 2 所示。

表2 不同施氮处理氮肥种类、所占比例及施用方法
Table 2 Types, proportions and application methods of nitrogen fertilizers under different fertilization

处理	氮用量 (kg/hm ²)	不同来源氮比例(%)			施肥方法
		尿素	有机无机复混肥	控释尿素	
T1	0	0	0	0	-
T2	200	100	0	0	100% 基施
T3	200	100	0	0	基追比 1 : 1, 大喇叭口期追肥
T4	200	37.5	0	62.5	100% 基施
T5	200	70	30	0	100% 基施
T6	200	37.5	30	32.5	100% 基施

为确保试验的准确性, 排除其他因素干扰, 试验采用随机区组排列, 3 次重复, 共计 18 个小区, 小区面积为 80 m²。每小区 N 1.6 kg; P₂O₅ 0.6 kg; K₂O 0.6 kg。采用人工拉线法划定各小区位置及面积。玉米采用垄作种植, 播前底肥采取开沟深施(沟深约 13 cm), 然后覆土起垄, 垄间距约 60 cm。采用人工手动播种, 播种深度 5~7 cm, 2 粒/穴, 穴间距约 25 cm, 播种密度 6.0×10⁴ 株/hm²。出苗后在三叶期间苗, 每穴留 1 株。本试验于 2017 年 4 月 30 日播种, 2017 年 10 月 6 日收获。

1.4 测定项目与方法

在春玉米不同生育期: 拔节期、大喇叭口期、灌浆期、成熟期采集植株和土壤样品。

土壤样品的制备和测定: 各小区采用“S”形采集 0~20 cm 土层土壤样品, 混匀。取 50 g 鲜土测定土壤含水量后, 用于土壤铵态氮、硝态氮的测定; 其余土样风干, 研磨, 过 20 目筛, 分别测定土壤有效磷、速效钾含量。土壤铵态氮、硝态氮采用 AA3 型流动分析仪测定; 有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

植株样品的制备和测定: 4 个生育期各小区取有代表性的玉米植株, 新鲜时称其鲜重; 然后将样品在 105℃ 杀青 30 min 后于 70℃ 下烘干至恒重, 称其干重; 最后将茎和叶分开粉碎后过 0.5 mm 筛, 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 测定植物样中氮、磷、钾的含量。

玉米产量及其构成因素测定: 玉米成熟期, 在每

个处理中心 1 m × 1 m 框内取有代表性植株 5 株, 收获其玉米穗, 分别测定其穗长、秃尖长、穗粒数及百粒重, 计算其产量及增产率。

1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 进行整理, 采用 SPSS 23.0 进行方差分析。

氮肥利用效率计算方法如下: 氮肥偏生产力=施氮区产量/氮肥施用量; 氮肥农学效率=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/氮肥施用量。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对土壤速效养分含量的影响

土壤中铵态氮和硝态氮的含量能较好地反映植物生长过程中土壤的供氮能力。由表 3 不同施肥方式

下土壤铵态氮含量的变化可知, 各处理随着玉米生育时期的推进, 土壤中的无机氮逐渐被玉米吸收, 从而使其含量呈现逐渐降低的趋势。不施氮处理(T1)在 4 个时期中铵态氮含量最低; 100% 基施尿素处理(T2)与 100% 施尿素且基追比 1 : 1 处理(T3)在拔节期和大喇叭口期土壤铵态氮含量相当, 由于 T3 处理在大喇叭口期进行追肥, 因此在灌浆期和成熟期时 T3 处理的铵态氮含量略高于 T2 处理; 37.5% 尿素+62.5% 控释尿素配施处理(T4)、70% 尿素+30%有机无机复混肥配施处理(T5)、37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5% 控释尿素配施处理(T6)在拔节期及大喇叭口期土壤铵态氮含量无显著性差异。成熟期时, 除 T1 处理外, T6 处理铵态氮含量在其他 4 个处理中最低。

表 3 不同施肥方式下土壤速效养分含量变化(mg/kg)
Table 3 Soil available nutrients under different fertilization

处理	铵态氮				硝态氮			
	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期
T1	8.54 c	7.81 c	7.29 d	6.57 d	10.73 e	9.30 d	5.70 d	5.52 d
T2	9.76 b	8.89 b	8.42 c	8.14 bc	16.07 d	15.52 c	13.74 a	11.84 a
T3	9.05 bc	8.79 b	9.20 bc	8.53 b	18.74 c	15.52 c	12.76 ab	9.20 c
T4	12.34 a	11.25 a	10.24 a	9.04 a	19.92 b	18.99 b	13.31 ab	10.32 b
T5	12.85 a	11.37 a	9.22 bc	8.56 b	28.26 a	23.99 a	12.30 bc	10.26 b
T6	12.62 a	11.20 a	9.63 ab	8.08 bc	28.13 a	23.02 a	11.32 c	9.15 c

处理	有效磷				速效钾			
	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期
T1	28.31 c	22.32 c	13.54 d	8.86 c	170.33 b	156.15 b	127.65 d	108.22 bc
T2	29.16 c	24.15 b	13.56 d	9.51 bc	169.03 b	158.23 b	150.16 a	115.64 ab
T3	29.32 c	21.39 c	15.56 c	9.03 bc	168.03 b	164.32 ab	136.04 bc	105.65 bc
T4	31.21 b	22.65 c	15.73 c	10.23 a	170.50 b	162.65 ab	148.16 ab	117.13 a
T5	33.56 a	25.65 a	19.57 a	10.17 ab	174.03 a	161.13 ab	139.56 bc	102.35 c
T6	33.14 a	25.13 a	17.12 b	9.55 bc	173.65 a	168.03 a	134.13 c	103.16 c

注: 表中同列数据后不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著; 下同。

随着玉米生育时期的推进, 各处理土壤中硝态氮含量同于土壤中铵态氮含量变化趋势, 均逐渐减少(表 3)。T1 处理在各时期土壤硝态氮均最低; T2 与 T3 处理相比, 前 3 个时期均无很大差异, 成熟期时, T2 处理硝态氮含量显著高于其他处理; T4 与 T2 处理相比, 前 3 个时期硝态氮含量均高于 T2 处理, 而在成熟期其含量低于 T2 处理, 这可能是由于控释尿素的加入使得土壤中更多的无机氮被植物体吸收, 并且最终有助于减少无机氮在土壤中的残留; T5 与 T6 处理相比, 两者在拔节期和大喇叭口期硝态氮含量相当, 大喇叭口期后, T6 处理其含量显著降低, 最终

T6 处理的土壤无机氮含量低于除 T1 处理外的其他 4 个处理。

由土壤中铵态氮及硝态氮含量变化可以看出, T3 处理无论在前期无机氮含量还是在成熟期无机氮残留量方面, 均优于 T2 处理; T4 处理由于控释尿素的加入有助于减少最终土壤中无机氮的残留; T6 处理对玉米生长期土壤的供氮能力最有帮助, 且在成熟期时土壤中无机氮残留量最低, 对土壤环境的影响最小。

从土壤有效磷含量的变化(表 3)可以看出, 随着时间的推移, 玉米生长需要从土壤吸收大量的速效磷

作为养分,其含量逐渐降低。T1~T4处理磷来源相同,因此各个时期土壤有效磷含量并无太大差异,但由于各处理本底土壤中有效磷含量可能不同,其含量会有轻微波动;T5、T6处理中磷肥有部分来自于有机无机复混肥,在拔节期和抽雄期两处理土壤中有效磷含量稍高,在灌浆期及成熟期其含量有所回落。成熟期时T1~T6各处理土壤中有效磷含量并无显著性差异。由此可见,前4种配施方式对土壤中有效磷含量影响不大,而有机无机复混肥与普通化肥混合施入能够增加土壤中的有效磷含量,为玉米生长前期提供充足的养分。

从土壤速效钾含量的变化(表3)可知,与土壤有效磷含量相似,土壤速效钾含量整体呈随生育时期推进而下降的趋势。T1~T4处理钾来源相同,因此在各个时期土壤中速效钾含量差异均不显著;T5及T6处理肥料中的钾有部分来源于有机无机复混肥,在最初的拔节期两者含量较其他处理稍高,在成熟期两者含量较其他处理低。因此,前4种配施方式对土壤中速效钾含量的影响不大,而有机无机复合肥与普通氮肥配施同样能够在

前期增加土壤中速效钾的含量,供玉米生长所需。

2.2 不同施肥方式对玉米养分吸收的影响

随着生育期的推进,玉米叶片及茎秆氮积累量变化如表4所示,各处理均呈现先升高后稍有降低的趋势,均在拔节期到大喇叭口期增长速度最明显,大喇叭口期到灌浆期缓慢增加,灌浆期达到氮素积累量最大值,最后在成熟期稍有回落。T1处理在4个时期氮素积累量均低于其他处理;T2与T3处理在拔节期和大喇叭口期叶片及茎秆氮素积累量差异不大,T3处理在大喇叭口期追肥,使得其在灌浆期和成熟期叶片及茎秆氮素积累量高于T2处理;T4处理各个时期叶片及茎秆氮素积累量均高于T2、T3处理,这说明控释尿素的加入相比于只施尿素,能够使玉米吸收更多氮素;T5与T6处理相比,两处理叶片及茎秆氮素积累量在拔节期均无显著差异,在大喇叭口期及以后两者差异逐渐显著。T6处理在各个时期叶片及茎秆氮素积累量均最大,说明在本试验中玉米生长的最佳施肥方式为37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5%控释尿素配施。

表4 不同施肥方式下玉米叶片及茎秆氮、磷、钾积累量变化(kg/hm²)
Table 4 Nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation in maize leaves and stalks under different fertilization

部位	处理	氮				磷				钾			
		拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期
叶片	T1	4.98 d	13.59 e	18.61 f	16.32 e	6.99 c	14.99 c	34.47 f	30.62 c	8.71 cd	11.92 d	19.92 e	10.82 e
	T2	5.63 d	20.48 d	22.76 e	20.11 d	7.59 b	22.65 b	36.99 e	35.98 b	8.20 cd	17.91 c	27.97 d	19.30 cd
	T3	7.95 c	21.47 d	31.70 d	30.75 c	8.27 b	23.32 b	39.55 d	36.03 b	7.37 e	17.30 c	30.60 c	18.11 cd
	T4	10.42 b	26.33 c	37.24 c	34.01 c	8.60 b	22.99 b	42.99 c	36.90 b	9.39 bc	21.98 b	34.74 b	20.36 c
	T5	12.77 a	31.58 b	45.64 b	38.18 b	9.98 a	26.99 a	47.65 b	48.65 a	11.77 a	22.25 b	39.25 a	26.72 b
	T6	12.83 a	39.31 a	54.24 a	53.41 a	9.90 a	28.98 a	52.98 a	48.80 a	10.42 ab	25.88 a	41.20 a	30.75 a
茎秆	T1	41.84 d	167.58 f	207.4 f	186.19 e	5.77 c	44.98 c	62.99 d	60.16 d	43.55 b	216.17 b	184.60 b	170.11 c
	T2	43.16 c	229.23 e	244.84 e	227.19 d	5.50 c	47.02 bc	78.59 c	73.79 c	52.56 a	228.40 b	260.35 b	177.07 c
	T3	44.87 c	246.57 d	291.66 d	270.29 c	7.40 ab	47.99 bc	75.13 c	64.37 cd	45.78 b	228.42 b	296.95 b	226.85 b
	T4	47.45 b	340.36 c	349.67 c	270.78 c	6.50 bc	55.98 ab	79.65 c	76.98 bc	50.32 a	219.28 b	278.72 b	238.49 b
	T5	67.93 a	393.89 b	404.11 b	307.85 b	8.10 a	54.65 b	90.57 b	87.65 ab	53.34 a	364.01 a	401.86 a	344.97 a
	T6	64.64 a	455.40 a	484.55 a	341.10 a	8.09 a	58.65 a	98.63 a	91.65 a	52.14 a	384.37 a	407.75 a	356.64 a

不同施肥方式下玉米叶片及茎秆磷积累量变化趋势与氮积累量变化趋势相同,均呈现先升高后降低趋势,且在灌浆期达到最大值,在成熟期有所回落(表4)。T1处理各时期玉米叶片及茎秆磷积累量均小于其他处理;T2~T4处理磷施用量及来源相同,因此三者在各个时期并无明显差异;T5、T6处理中磷肥有部分来自于有机无机复混肥,两者各时期磷积累量均高于其他处理。由此可见,6个施肥处理对玉

米叶片及茎秆磷积累量无较大影响。

不同施肥方式下玉米叶片及茎秆钾积累量的变化与氮、磷积累量相同,无论是叶片还是茎秆钾积累量均先升高,至灌浆期达到最大值,而后在成熟期有所降低(表4)。T1处理各时期叶片及茎秆钾积累量均低于其他处理;T3处理在大喇叭口期进行追肥,T2处理在拔节期和大喇叭口期叶片及茎秆中钾积累量高于T3处理,大喇叭口期过后,其含量低于T3处

理,但两者总体差异不大;与磷积累量相似,T5、T6处理叶片及茎秆钾积累量处于4个时期的最高值,且两者间无显著差异。这也说明6个施肥处理对玉米叶片及茎秆钾积累量无较大影响。

2.3 不同施肥方式对玉米生长、产量及其构成因素的影响

各施氮处理玉米干物质质量在各时期均高于T1处理(表5)。在拔节期T1、T2、T3、T4处理间差异不显著,这可能是由于土壤中原有的氮素足够供给玉米最初生长所需;从大喇叭口期开始,各施肥处理差异显著,T6处理在各时期玉米干物质质量均最大。

表5 不同施肥方式对玉米干物质质量的影响(g/株)
Table 5 Maize dry weights under different fertilization

处理	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	成熟期
T1	19.0 b	50.7 d	227.0 c	201.7 f
T2	23.5 b	70.8 c	346.0 b	255.9 e
T3	25.90 b	78.1 c	349.3 b	279.7 d
T4	26.0 b	93.9 b	459.0 a	292.4 c
T5	36.5 a	97.5 ab	485.5 a	306.8 b
T6	39.1 a	108.6 a	502.4 a	332.2 a

表6 不同施肥方式对玉米产量及其构成因素和氮肥利用率的影响

Table 6 Maize yields and its component factors and nitrogen use efficiencies under different fertilization

处理	穗长(cm)	秃尖长(cm)	穗粒数	百粒重(g)	产量(kg/hm ²)	增产率(%)	氮肥农学效率(kg/kg)	氮肥偏生产力(kg/kg)
T1	14.7 bc	0.12 ab	504 c	27.6 e	9 156 d	-	-	-
T2	15.5 b	0.13 ab	525 a	30.6 de	9 911 c	8.24	3.77	49.55
T3	14.9 bc	0.08 b	523 a	31.7 cd	10 086 c	10.15	4.65	50.43
T4	16.2 ab	0.16 ab	523 a	33.4 ab	10 475 b	14.41	6.60	52.37
T5	17.2 a	0.21 a	516 b	32.3 bc	10 690 b	16.76	7.67	53.45
T6	16.9 ab	0.04 b	502 c	34.6 a	11 428 a	24.82	11.36	57.14

3 结论

1)黑龙江春玉米生长期,各施氮处理在各时期土壤无机氮含量均高于不施氮处理,其中,37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5%控释尿素配施处理在拔节期无机氮含量高于其他处理,而在成熟期低于其他处理(除不施肥处理外),表明其向玉米植株转运氮素效率更高。

2)玉米叶片及茎秆氮素积累量各处理均呈现先升高后降低趋势,且均在灌浆期达最大值,成熟期有所回落,其中,37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5%控释尿素配施处理在除拔节期外的3个时期氮素积累量均高于其他处理。

3)各施肥处理对土壤有效磷、速效钾以及玉米叶

表6显示了不同施肥方式对玉米产量及其构成因素的影响。由表6可知,T1处理玉米穗长值最小;施氮对穗长、秃尖长及穗粒数无显著影响;各施氮处理百粒重及产量均显著高于T1处理,增产8.24%~24.82%。

2.4 不同施肥方式对氮肥利用率的影响

氮肥偏生产力是土壤本身养分和施用肥料养分的综合效应。有研究指出,氮肥偏生产力一般在40~80 kg/kg,>60 kg/kg则氮素管理较好或者施肥量较低。本试验中不同施氮方式下氮肥偏生产力均<60 kg/kg,而T6处理大于其他处理。对于氮肥农学效率,其规律与氮肥偏生产力相同,同样为T6处理最高。

由此可见,本研究中,T6处理(37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5%控释尿素配施)在本年度是可行的,既可以减少氮素在土壤中的残留,改善土壤质量,又可以提高玉米产量,同时可以提高氮肥利用率,但长期施用是否可以维持玉米产量这一问题还有待进一步试验验证。且本研究仅为一年试验成果,一年中降水量及气候因素影响较大。因此,研究合理配施方式对玉米产量及经济、环境效应的影响还有待进一步深入。

片、茎秆磷和钾含量均无显著影响。

4)施氮处理产量均高于不施氮处理,37.5%尿素+30%有机无机复混肥+32.5%控释尿素配施处理(T6)的干物质质量、产量、增产率、氮肥偏生产力及农学效率均高于其他处理,因此,其为黑龙江省春玉米生长的最佳施氮方式。

参考文献:

- [1] 王丽华,刘正,潘海山,等. 10个玉米品种(系)的产量比较及主要农艺性状的关联度分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(15): 103-107.
- [2] 戴景瑞,鄂立柱. 我国玉米育种科技创新问题的几点思考[J]. 玉米科学, 2010, 18(1): 1-5.
- [3] 高强,刘振刚. 吉林省有机无机肥料的生产和使用[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(5): 59.

- [4] 张世贤. 我国有机肥料的资源、利用、问题和对策[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(1): 8-11.
- [5] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [6] 许秀成, 侯翠红. 中国粮食生产中的肥料问题“中国粮食高产我们可以做什么?”报告之一[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(4): 12-17.
- [7] 姜超强, 卢殿君, 祖朝龙, 等. 施用方式和氮肥种类对砂姜黑土氮素迁移的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 248-255.
- [8] 王寅, 冯国忠, 张天山, 等. 控释氮肥与尿素混施对连作春玉米产量/氮素吸收和氮素平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 518-528.
- [9] 赵兰坡, 王鸿斌, 刘会青, 等. 松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 79-84.
- [10] 张华艳, 牛灵安, 郝晋珉, 等. 秸秆还田配施缓控释肥对土壤养分和作物产量的影响[J]. 土壤学报, 2018, 49(1): 140-149.
- [11] 隋常玲, 张民. ^{15}N 示踪控释氮肥的氮肥利用率及去向研究[J]. 西北农业学报, 2014, 23(9): 120-127.
- [12] 孙莹, 侯伟, 迟美静, 等. 氮肥与有机肥配施对设施土壤腐殖质组分的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 940-952.
- [13] 李玉浩, 何杰, 王昌全, 等. 控释氮肥配施尿素对土壤无机氮、微生物及水稻生长的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 469-475.
- [14] 李姣. 测土配方施肥对玉米产量及肥料利用率的影响[J]. 现代化农业, 2018, (1): 24-26.
- [15] 马娟娟, 杨珍平, 苏琳琳, 等. 施肥处理对玉米生育期生理性状及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(2): 230-233.