

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第5期

Vol.52 No.5



土壤学报

(Turang Xuebao)



第52卷 第5期 2015年9月

目次

综述与评论

- 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)
土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱江等 (970)

研究论文

- 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李玲 张少凯 吴克宁等 (979)
皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶玮等 (991)
青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)
基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李硕 汪善勤 史舟 (1014)
基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王升 陈洪松 付智勇等 (1024)
淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐丹 曹阳 (1031)
神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)
砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵丹 李毅 冯浩 (1058)
pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)
土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李婷 王火焰 陈小琴等 (1078)
生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)
小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李洋 宋洋 王芳等 (1096)
不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张默 贾明云 卞永荣等 (1106)
十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)
稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王慧 桂娟 刘满强等 (1124)
沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)
土壤团聚体 N_2O 释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘毅等 (1144)
基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

- 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

- 干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴丽 杨红 兰书斌等 (1173)
咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高培等 (1180)
不同 $NaNO_3$ 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈勇等 (1188)

封面图片: 不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性 (由王赢利提供)

DOI: 10.11766/trxb201412010600

基于产量、氮效率和经济效益的春玉米 控释氮肥掺混比例*

王寅¹ 冯国忠¹ 张天山² 茹铁军² 袁勇¹ 高强^{1†}

(1 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118)

(2 中国-阿拉伯化肥有限公司, 河北秦皇岛 066003)

摘要 设置多年多点大田试验, 研究多环境条件下控释氮肥与普通尿素不同掺混比例对春玉米拔节期生长发育、成熟期产量及产量构成因素、氮素利用效率和经济效益的影响, 并建立产量、氮肥偏生产力和施肥利润与控释氮肥掺混比例之间的关系以确定最佳掺混比例。结果表明, 增加控释氮肥掺混比例可促进春玉米拔节期生长发育, 其中显著增加叶片数并改善叶片氮营养状况。9个试验综合显示, 春玉米产量和施肥利润随控释氮肥掺混比例的增加而显著提高并均在30%时达到最高, 分别为 10.12 t hm^{-2} 和 $5\ 071 \text{ 元 hm}^{-2}$, 较普通尿素全施处理分别增加了 0.98 t hm^{-2} (10.8%) 和 $1\ 639 \text{ 元 hm}^{-2}$ (47.8%)。提高控释氮肥掺混比例获得增产的主要原因是显著增加了春玉米成熟期的穗粒数, 同时对收获穗数也表现出积极影响。控释氮肥掺混比例增加显著提高春玉米的氮肥偏生产力, 同时土壤氮素依存率则显著下降, 两指标均在掺混比例超过30%后不再明显变化。各试验点春玉米的产量、氮肥偏生产力和施肥利润在整体上与控释氮肥掺混比例均存在极显著的一元二次关系, 基于此三项指标推算得出适宜掺混比例平均分别为35.1%、35.2%和33.7%。可见, 控释氮肥掺混施用有利于促进春玉米生长发育, 获得增产增收并提高氮素效率, 综合各方面表现确定控释氮肥的最佳掺混比例为30%~35%。

关键词 春玉米; 控释氮肥掺混比例; 生长发育; 产量; 氮素利用率; 经济效益

中图分类号 S143; S513 **文献标识码** A

玉米是我国当前第一大粮食作物, 也是重要的饲用、工业及能源原料, 20世纪玉米产量的快速增长对中华民族的生存和发展作出了重大贡献^[1]。东北地区是我国重要的玉米生产基地, 2013年黑龙江、吉林和辽宁三省春玉米种植面积为 $11.2 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 产量达 $75.6 \times 10^6 \text{ t}$, 分别占全国的30.8%和34.6%^[2]。在当前人口持续增加、城市化进程加快以及耕地面积不断下降的情况下, 稳定并继续增加东北春玉米产量对保障我国玉米产业发展和国家粮食安全具有重要意义。

近年来, 由于劳动力成本增加、高氮复混肥运用以及中后期追肥不便, 东北春玉米种植区农民

的一次性施肥方式迅速增加, 其中吉林省一次性施肥比例达到78.3%^[3-4]。春玉米苗期需氮量较少, 氮素吸收高峰通常出现在拔节之后^[5-6], 氮肥一次性大量基施有悖其氮素需求规律, 对出苗和苗期生长不利, 后期则易脱肥而导致产量下降, 肥料投入增加也使经济效益降低^[3-4, 7]。此外, 过量施氮显著降低氮素利用效率^[8], 还可能引发水体富营养化^[9]、土壤酸化^[10]及大气活性氮排放增加^[11]等环境问题。控释氮肥具有养分释放与作物吸收同步的特点, 是增加产量、提高氮肥效率的有效途径^[12]。合理施用控释肥可满足玉米生育期养分需求, 促进生长发育获得高产^[13-15], 并减少地下水

* 公益性行业(农业)科研专项作物最佳养分管理技术研究与应用(201103003)和国家现代农业玉米产业技术体系项目(CARS-02)资助

† 通讯作者, E-mail: gyt199962@163.com

作者简介: 王寅(1986—), 男, 陕西咸阳人, 博士, 讲师, 主要从事作物养分管理与施肥研究。E-mail: wy1986410@163.com

收稿日期: 2014-12-01; 收到修改稿日期: 2015-03-08

硝态氮污染^[16]。目前,控释肥价格普遍较高,而环境不利因素如春季低温或干旱也可能导致其养分前期释放慢而影响作物生长,后期土壤无机氮残留过多而增加生态风险。因此,一些研究者推荐将控释氮肥与普通尿素掺混施用,一方面调节速效和缓效氮素供应以更好适应作物氮素需求,另一方面减少肥料和人工成本以提高经济收益^[17-20]。衣文平等^[19]研究发现春玉米控释氮肥掺混比例为30%时产量、经济效益和氮肥效率表现最佳,谢佳贵^[20]和尹彩侠^[7]等研究则显示春玉米的控释氮肥掺混比例以50%为宜。前人有关春玉米控释氮肥掺混施用的研究较少,且均是基于单个试验点或试验年份,研究结果缺乏较普遍的适用性和指导意义。因此,本研究在吉林省中部春玉米主产区设置多年多点大田试验,研究多环境条件下控释氮肥与普通尿素掺混施用对春玉米生长、产量与产量构成、氮素效率及经济效益的影响,综合讨论当前春玉米的适宜控释氮肥掺混比例,为氮素科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究于2009—2011年度在吉林省中部玉米主产区共设置9个春玉米控释氮肥掺混比例田间试验。2009年3个试验分别在公主岭市范家屯镇、陶家屯镇和梨树县梨树镇,2010年4个试验分别在公主岭市陶家屯镇、梨树县梨树镇、九台市兴隆镇和永吉县万昌镇,2011年2个试验分别在九台市兴隆镇和永吉县万昌镇。其中,九台市兴隆镇和永吉县万昌镇在2010和2011连续两年的试验于相同田块进行。试验地区属大陆性季风气候,雨热同期,年有效积温(10℃)在2 400~3 000℃之间,年均降水量为400~950 mm,且70%左右集中在7、8月份,种植制度为一年一熟,以玉米为主。各试验点春玉米生育期内的气温和降水状况如表1所示。与多年平均气候状况相比,2010和2011年5月的平均气温偏低而降水较多,3个年度9月份的降水则明显

表1 试验地区春玉米生育期的气温和降水状况

Table 1 Air temperature and precipitation of the field experiments during spring maize growing season

年份 Year	地点 Site	气温 Air temperature (°C)						降水 Precipitation (mm)						
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	总量
		May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
2009	范家屯Fanjiatun	18.2	19.0	22.3	23.0	16.2	8.4	28.5	125.2	123.2	64.5	14.2	20.2	426.6
	陶家屯Taojiatun	18.2	19.0	22.3	23.0	16.2	8.4	28.5	125.2	123.2	64.5	14.2	20.2	426.6
	梨树Lishu	18.7	19.7	22.7	23.4	16.7	9.0	32.0	85.0	121.0	49.0	3.0	35.0	374.0
2010	陶家屯Taojiatun	16.0	23.6	23.1	21.8	16.8	6.8	162.0	30.5	276.3	205.9	7.9	41.0	765.8
	梨树Lishu	16.3	24.2	23.6	22.3	15.1	7.4	104.0	19.0	235.0	214.0	2.0	58.0	667.0
	兴隆Xinglong	15.9	23.9	23.0	21.6	15.2	6.3	122.3	50.5	233.8	131.6	5.6	30.3	615.3
	万昌Wanchang	15.5	23.1	22.8	21.4	14.4	6.4	107.0	36.0	386.0	220.0	8.0	50.0	877.0
2011	兴隆Xinglong	15.3	20.9	24.3	22.9	15.5	9.7	61.1	82.3	194.3	69.1	10.0	16.2	444.5
	万昌Wanchang	14.3	20.1	23.9	21.8	14.4	8.8	109.0	127.0	258.0	98.0	21.0	30.0	665.0

较少,而2010年7、8月降雨显著较多。

供试品种均为当地主栽玉米品种,种植密度均为 6.0×10^4 株 hm^{-2} 。春玉米于每年5月上旬播种,10月上旬收获,生育期在150~160 d左右。各试验田块的基础土壤性状、玉米品种及生育期列于表2。

1.2 试验设计

田间试验均设5个处理,分别为:(1)不施氮

对照(CK), (2)100%普通尿素(CRN0%), (3)15%控释氮肥+85%普通尿素(CRN15%), (4)30%控释氮肥+70%普通尿素(CRN30%), (5)45%控释氮肥+55%普通尿素(CRN45%),各施氮处理的施氮量相同。为方便比较春玉米产量表现并确定控释氮肥最佳掺混比例,各试验养分投入量保持一致。根据试验区春玉米常年产量

表2 田间试验的基础土壤性状、玉米品种及生育期

Table 2 Initial soil properties, maize variety and growth period of the experiment fields										
年份 Year	地点 Site	土壤类型 Soil type	pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	品种 Variety	生育期 Growth period (d)
2009	范家屯 Fanjiatun	黑土 Black soil	6.50	22.3	1.70	135.9	14.6	130.6	军单8 Jundan 8	157
	陶家屯 Taojiatun	黑土 Black soil	6.32	19.8	1.63	124.8	17.3	124.5	军单8 Jundan 8	157
	梨树 Lishu	黑土 Black soil	5.71	20.1	1.23	110.1	21.6	99.8	郑单958 Zhengdan 958	155
2010	陶家屯 Taojiatun	黑土 Black soil	4.85	22.3	1.38	138.5	34.3	140.7	银河62 Yinhe 62	147
	梨树 Lishu	黑土 Black soil	5.50	17.6	1.25	161.4	30.4	119.2	先玉335 Xianyu 335	152
	兴隆 Xinglong	黑土 Black soil	5.06	27.0	1.72	158.2	21.0	135.2	郑单958 Zhengdan 958	150
	万昌 Wanchang	白浆土 Ablic soil	4.81	20.9	1.30	132.0	33.7	85.4	郑单958 Zhengdan 958	148
2011	兴隆 Xinglong	黑土 Black soil	5.06	27.0	1.72	158.2	21.0	135.2	良玉11 Liangyu 11	158
	万昌 Wanchang	白浆土 Ablic soil	4.81	20.9	1.30	132.0	33.7	85.4	郑单958 Zhengdan 958	159

水平 (9.0 ~ 10.5 t hm⁻²) 和试验田块土壤养分状况确定氮、磷、钾肥用量分别为 N 185 kg hm⁻²、P₂O₅ 87 kg hm⁻² 和 K₂O 52.5 kg hm⁻² [21]。本研究所用控释氮肥含 N 44.5%，控释期约 60 d，释放曲线为 S 型，普通尿素含 N 46.4%，磷肥（过磷酸钙）含 P₂O₅ 12%，钾肥（氯化钾）含 K₂O 60%。所有氮、磷、钾肥均于玉米播种前一次性深施。小区面积均为 40 m²，设 3 次重复，随机区组排列。除供试肥料和施肥措施外，其他田间管理均与当地农民习惯保持一致。

1.3 测定项目与方法

各试验点基础土壤样品的采集和测定均用如下方法统一进行。施基肥前在整个田块均匀布点 15 个取 0 ~ 20 cm 耕层土壤，实验室风干磨细过筛后按常规法测定 [22]：pH 按水土比 2.5 : 1，pH 计测定；有机质采用重铬酸钾容量法；全氮采用半微量开氏法—标准酸滴定；碱解氮采用碱解扩散法—标准酸滴定；有效磷采用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法；速效钾采用 1 mol L⁻¹ NH₄OAc 浸提—火

焰光度法。

拔节期生长发育指标和成熟期产量构成因素调查在 3 个试验点进行，分别为 2009 年范家屯、2010 年梨树和 2011 年兴隆。拔节期选取有代表性的 10 株玉米调查株高、茎粗、叶片数和叶绿素含量相对值 (SPAD 值)，成熟期调查收获穗数、穗粒数和百粒重，其中收获穗数通过田间测算总植株密度和空秆率得出，穗粒数和百粒重通过选取有代表性的 10 穗玉米穗带回实验室调查和风干称重获得。

各试验点收获时对每个小区进行单收单打，测得籽粒产量。经济效益分析中，玉米和肥料价格按 2009 至 2011 年市场平均价格计算，即玉米为 1.8 元 kg⁻¹，控释氮肥为 3.1 元 kg⁻¹，普通尿素为 2.1 元 kg⁻¹，过磷酸钙为 0.45 元 kg⁻¹，氯化钾为 3.0 元 kg⁻¹。相比不施氮对照，各施氮处理的利润由增加的产值减去增加的肥料成本计算得出，产投比由施肥利润除以增加的肥料成本计算得出。通过计算氮肥偏生产力 (Partial factor productivity of N fertilizer, PFPN) 对春玉米氮肥利用率进行表征，

氮肥偏生产力 ($\text{kg kg}^{-1} \text{N}$) = 施氮处理玉米产量 (kg hm^{-2}) / 施氮量 (N kg hm^{-2})。此外, 计算各施氮处理春玉米的土壤氮素依存率 (Contribution rate of soil N, CRSN), 土壤氮素依存率 (%) = 不施氮区玉米产量 (kg hm^{-2}) / 施氮区玉米产量 (kg hm^{-2}) [23]。

1.4 数据统计分析

所有试验数据均采用 Excel 软件计算, 用 SPSS17.0 软件进行统计分析, 利用单因素方差分析比较各施肥处理间在 $p=0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果

2.1 控释氮肥掺混比例对春玉米拔节期生长发育的影响

田间调查显示, 春玉米拔节期的株高、茎粗、叶片数和 SPAD 值在施氮后均显著提高 (表 3)。随控释氮肥掺混比例增加, 2009 年范家屯点春玉米株高持续上升, 在 CRN45% 处理达到最高, 而 2010 年

梨树点和 2011 年兴隆点株高变化则不明显。3 个试验春玉米茎粗在控释氮肥掺混比例变化时均未表现出显著差异。叶片数和 SPAD 值在各试验中随控释氮肥掺混比例的增加均持续提高, 2009 年范家屯点两项指标在掺混比例为 30% 时较 CRN0% 处理表现出显著差异, 2010 年梨树点分别在掺混比例为 30% 和 15% 时出现显著差异, 2011 年兴隆点则在掺混比例为 30% 时显著增加。结果表明, 增加控释氮肥掺混比例可促进春玉米拔节期生长发育, 尤其是显著增加叶片数量和 SPAD 值。

2.2 控释氮肥掺混比例对春玉米产量的影响

不施氮条件下, 9 个试验春玉米的平均产量为 6.81 t hm^{-2} (表 4)。除 2010 年陶家屯点, 各试验中产量在施氮后均显著提高。所有试验春玉米产量随控释氮肥掺混比例的增加均表现出上升趋势, 整体上在掺混比例超过 15% 后无显著变化, 在 CRN30% 处理达到最高的 10.12 t hm^{-2} 。图 1 显示, 春玉米在 CRN0%、CRN15%、CRN30% 和 CRN45% 处理较 CK 处理平均分别增产 2 325、2 946、3 302

表 3 控释氮肥掺混比例对春玉米拔节期生长发育的影响

Table 3 Effects of ratio of controlled release N fertilizer and common urea on growth of spring maize at the jointing stage

年份 Year	地点 Site	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	叶片数 No. of leaf	SPAD
2009	范家屯 Fanjiatun	CK	45.2 ± 2.5c	1.71 ± 0.06b	7.90 ± 0.85c	52.7 ± 1.3c
		CRN0%	54.2 ± 2.9b	1.96 ± 0.21ab	8.90 ± 0.17b	56.7 ± 0.9b
		CRN15%	56.1 ± 1.5ab	2.05 ± 0.17a	9.47 ± 0.21ab	56.8 ± 1.4b
		CRN30%	58.1 ± 2.0ab	2.02 ± 0.10a	9.67 ± 0.29a	61.2 ± 1.0a
		CRN45%	58.4 ± 1.4a	2.04 ± 0.17a	9.77 ± 0.21a	60.9 ± 0.6a
2010	梨树 Lishu	CK	37.4 ± 1.4b	1.36 ± 0.05b	7.30 ± 0.17c	49.0 ± 1.0c
		CRN0%	45.4 ± 1.0a	1.73 ± 0.08a	8.08 ± 0.08b	51.1 ± 0.8b
		CRN15%	45.5 ± 2.5a	1.74 ± 0.11a	8.27 ± 0.06ab	53.1 ± 0.9a
		CRN30%	45.8 ± 4.3a	1.80 ± 0.13a	8.30 ± 0.10a	52.7 ± 0.8a
		CRN45%	46.5 ± 3.7a	1.78 ± 0.11a	8.28 ± 0.08a	53.3 ± 0.5a
2011	兴隆 Xinglong	CK	60.8 ± 1.2b	1.79 ± 0.11b	8.10 ± 0.26c	52.3 ± 1.1c
		CRN0%	62.8 ± 0.9ab	1.91 ± 0.05a	8.83 ± 0.21b	55.5 ± 1.3b
		CRN15%	63.8 ± 1.4a	1.88 ± 0.07ab	9.45 ± 0.23a	57.7 ± 0.7a
		CRN30%	63.0 ± 1.8ab	1.88 ± 0.05a	9.33 ± 0.15a	57.6 ± 1.0a
		CRN45%	64.2 ± 1.2a	1.89 ± 0.03a	9.38 ± 0.19a	57.9 ± 0.6a

注: 平均值 ± 标准差。同一列不同小写字母表示同一试验点处理间差异显著 ($p < 0.05$), 下同 Note: Means ± std. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments at $p < 0.05$ at the same experimental site. The same below

表4 控释氮肥掺混比例对春玉米产量的影响

年份 Year	地点 Site	产量 Grain yield (t hm ⁻²)				
		CK	CRN0%	CRN15%	CRN30%	CRN45%
2009	范家屯 Fanjiatun	7.02 ± 0.32c	9.11 ± 0.44b	9.25 ± 0.26b	10.07 ± 0.42a	10.51 ± 0.15a
	陶家屯 Taojiatun	6.68 ± 0.34c	11.28 ± 0.22b	12.02 ± 0.35ab	12.55 ± 0.29a	11.71 ± 0.27ab
	梨树 Lishu	6.54 ± 0.74c	7.89 ± 0.53b	8.37 ± 0.39ab	8.47 ± 0.23a	8.28 ± 0.47b
2010	陶家屯 Taojiatun	7.76 ± 0.25c	8.09 ± 0.24bc	8.30 ± 0.30b	8.59 ± 0.24ab	8.82 ± 0.24a
	梨树 Lishu	6.66 ± 0.41c	7.71 ± 0.27b	8.45 ± 0.24a	8.86 ± 0.40a	8.77 ± 0.38a
	兴隆 Xinglong	7.35 ± 0.28c	8.24 ± 0.30b	8.74 ± 0.36a	8.78 ± 0.31a	8.79 ± 0.40a
	万昌 Wanchang	7.58 ± 0.49b	8.11 ± 0.41b	9.24 ± 0.36a	9.88 ± 0.16a	9.67 ± 0.24a
2011	兴隆 Xinglong	6.44 ± 0.46c	11.79 ± 0.21b	13.03 ± 0.35a	13.05 ± 0.50a	12.83 ± 0.23a
	万昌 Wanchang	5.29 ± 0.38b	10.03 ± 0.40a	10.44 ± 0.70a	10.79 ± 0.49a	10.80 ± 0.43a
平均值 Mean		6.81 ± 0.74c	9.14 ± 1.54b	9.76 ± 1.72ab	10.12 ± 1.71a	10.02 ± 1.55a

注：平均值 ± 标准差。同一行内不同小写字母表示同一试验点处理间差异显著 ($p < 0.05$) Note: Means ± std. Different lowercase letters in the same row indicate significant differences between treatments at $p < 0.05$ at the same experimental site

和3 207 t hm⁻²，增幅分别为36.8%、46.0%、51.2%和49.7%，在掺混比例超过30%后不再显著变化。与CRN0%处理相比，CRN30%处理平均增产了0.98 t hm⁻² (10.8%)。

不同试验中春玉米产量对控释氮肥施用的响应趋势不尽相同。2009年3个试验增施控释氮肥后产量无显著变化，掺混比例增加至30%时产量显著提

高。2010年，陶家屯点产量在控释氮肥掺混比例为0%~30%时均无显著差异，掺混比例达到45%后出现显著变化，其他3个试验及2011年兴隆点产量在增施控释氮肥后即显著提高，而后则无明显变化。2011年万昌点产量未受控释氮肥掺混比例影响，各施氮处理间均无差异。所有试验中以2010年兴隆点增产效果最好，其次为2010年万昌和2009

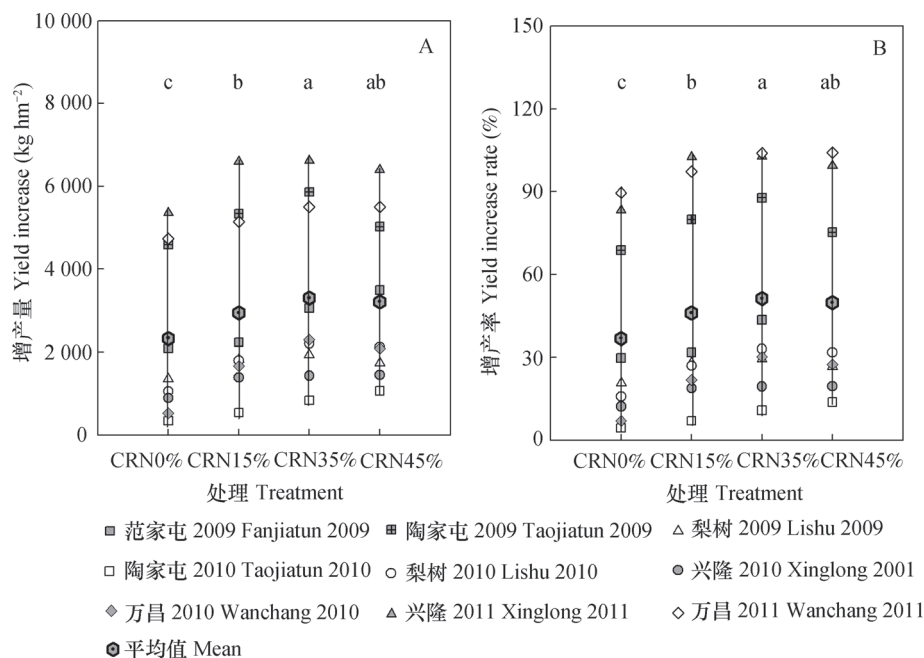


图1 控释氮肥掺混比例对春玉米增产量 (A) 和增产率 (B) 的影响

Fig. 1 Effects of ratio of controlled release N fertilizer and common urea on grain yield increase (A) and yield increase rate (B) of spring maize

年陶家屯点, 而2010年陶家屯点增产相对较低。

2.3 控释氮肥掺混比例对春玉米产量构成因素的影响

成熟期调查显示, 春玉米产量构成因素在施氮后均显著提高(表5)。相比CRN0%处理, 3个试验中穗粒数在增施控释氮肥后均显著增加, 而不同掺混比例间则无明显差异。与穗粒数不同, 3个试验收获穗数和百粒重不同施氮处理间的表现并不一

致。2009年范家屯和2010年梨树点收获穗数在各施氮处理间无明显变化, 而2011年兴隆点增施控释氮肥后收获穗数较CRN0%处理显著提高。2010年梨树点百粒重随控释氮肥掺混比例增加而持续上升, 掺混比例达30%时出现显著变化, 而2009年范家屯和2011年兴隆点百粒重在各施氮处理间均无显著差异。结果表明, 控释氮肥施用对增加春玉米穗粒数有显著效果, 同时对收获穗数也有一定提高作用。

表5 控释氮肥掺混比例对春玉米产量构成因素的影响

Table 5 Effects of ratio of controlled release N fertilizer and common urea on yield components of spring maize

年份 Year	地点 Site	处理 Treatment	收获穗数 Ear number (10^4 hm^{-2})	穗粒数 Kernel number per ear	百粒重 100-kernel weigh (g)
2009	范家屯 Fanjiatun	CK	$5.70 \pm 0.03 \text{ b}$	$539.8 \pm 23.3 \text{ c}$	$30.6 \pm 0.5 \text{ b}$
		CRN0%	$5.81 \pm 0.05 \text{ a}$	$590.7 \pm 10.4 \text{ b}$	$34.7 \pm 1.1 \text{ a}$
		CRN15%	$5.84 \pm 0.08 \text{ a}$	$617.9 \pm 11.5 \text{ a}$	$34.9 \pm 0.6 \text{ a}$
		CRN30%	$5.84 \pm 0.06 \text{ a}$	$632.3 \pm 20.5 \text{ a}$	$35.4 \pm 1.0 \text{ a}$
		CRN45%	$5.85 \pm 0.05 \text{ a}$	$635.0 \pm 13.6 \text{ a}$	$35.6 \pm 0.6 \text{ a}$
2010	梨树 Lishu	CK	$5.41 \pm 0.11 \text{ b}$	$454.3 \pm 13.7 \text{ b}$	$27.2 \pm 1.2 \text{ c}$
		CRN0%	$5.67 \pm 0.06 \text{ a}$	$465.1 \pm 18.0 \text{ b}$	$31.2 \pm 1.1 \text{ b}$
		CRN15%	$5.73 \pm 0.12 \text{ a}$	$505.3 \pm 14.3 \text{ a}$	$32.1 \pm 0.9 \text{ ab}$
		CRN30%	$5.75 \pm 0.05 \text{ a}$	$532.0 \pm 13.1 \text{ a}$	$33.2 \pm 0.7 \text{ a}$
		CRN45%	$5.71 \pm 0.09 \text{ a}$	$515.4 \pm 20.7 \text{ a}$	$33.4 \pm 1.1 \text{ a}$
2011	兴隆 Xinglong	CK	$5.48 \pm 0.10 \text{ c}$	$441.7 \pm 28.6 \text{ c}$	$34.7 \pm 0.7 \text{ b}$
		CRN0%	$5.72 \pm 0.08 \text{ b}$	$605.3 \pm 13.8 \text{ b}$	$36.1 \pm 0.5 \text{ a}$
		CRN15%	$5.88 \pm 0.08 \text{ a}$	$652.0 \pm 23.4 \text{ a}$	$36.8 \pm 1.7 \text{ a}$
		CRN30%	$5.85 \pm 0.05 \text{ a}$	$648.0 \pm 24.6 \text{ a}$	$36.3 \pm 0.8 \text{ a}$
		CRN45%	$5.87 \pm 0.08 \text{ a}$	$643.7 \pm 19.0 \text{ a}$	$36.6 \pm 0.7 \text{ a}$

2.4 控释氮肥掺混比例对春玉米氮肥偏生产力和土壤氮素依存率的影响

CRN0%处理下, 9个试验点春玉米的氮肥偏生产力平均为 $55.4 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ (图2A)。增施控释氮肥后各试验氮肥偏生产力均出现提高, 且整体上随掺混比例的增加呈持续上升趋势。控释氮肥掺混比例为30%时, 氮肥偏生产力达到最高的 $61.3 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$, 而后无显著变化。与氮肥偏生产力趋势相反, 土壤氮素依存率整体上随控释氮肥掺混比例的增加持续下降(图2B), 平均土壤氮素依存率从CRN0%处理的76.8%显著降至CRN30%处理的69.4%。2011年兴隆和2009年陶家屯氮肥偏生产力明显较高, 而土壤氮素依存率则相对偏低; 2010年

陶家屯各施氮处理土壤氮素依存率均最高, 但氮肥偏生产力则普遍较低。

2.5 控释氮肥掺混比例对春玉米经济效益的影响

图3显示, 各试验CK处理春玉米产值平均为 $12\,265 \text{ 元 hm}^{-2}$ 。施氮后则显著提高, 从CRN0%处理的 $16\,450 \text{ 元 hm}^{-2}$ 增加至CRN30%处理的 $18\,208 \text{ 元 hm}^{-2}$, 而后不再显著变化。相应地, 施肥利润随控释氮肥掺混比例增加也持续上升, 在CRN30%处理达到最高的 $5\,071 \text{ 元 hm}^{-2}$ 。增施控释氮肥后产投比整体上显著提高, 但不同掺混比例间并无明显差异。所有试验中以2011年兴隆点经济效益最好, 其产值、施肥利润和产投比均最高, 而2010年陶家屯点表现相对较差。

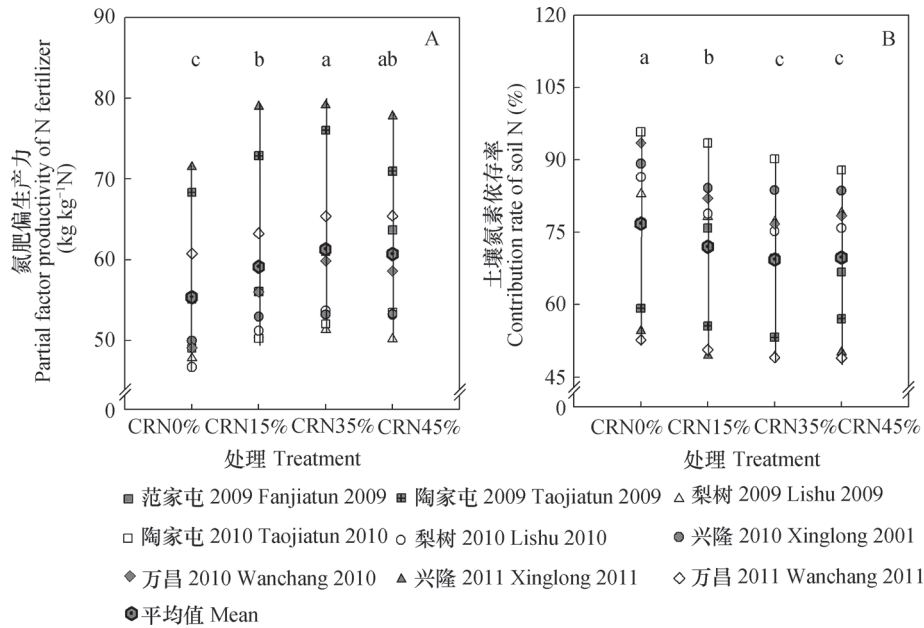


图2 控释氮肥掺混比例对春玉米氮肥偏生产力 (A) 和土壤氮素依存率 (B) 的影响

Fig.2 Effects of ratio of controlled release N fertilizer and common urea on partial factor productivity of N fertilizer (A) and contribution rate of soil N (B) in the spring maize growing period

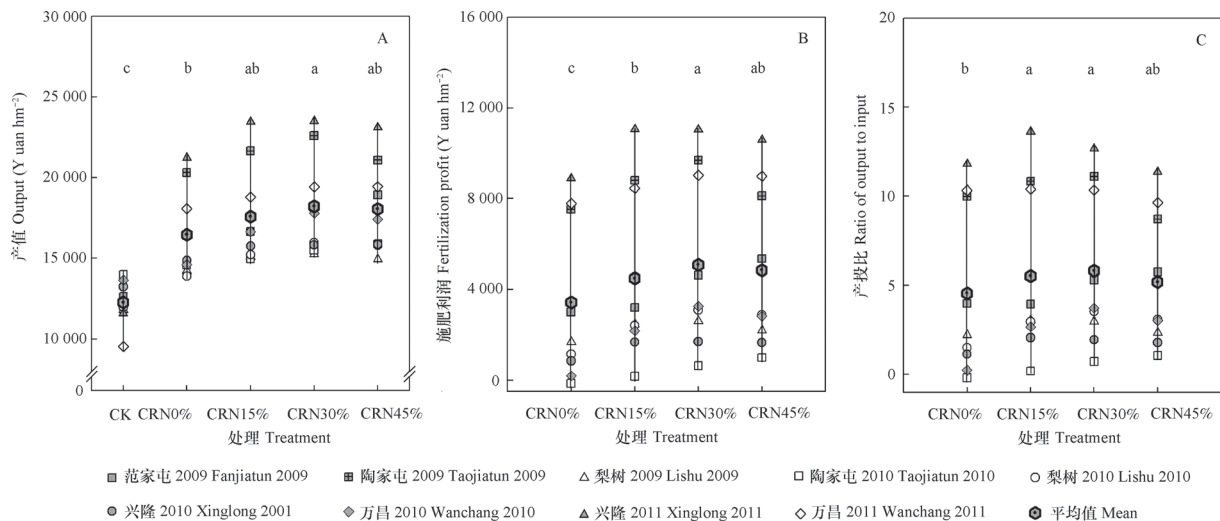


图3 控释氮肥掺混比例对春玉米产值 (A)、施肥利润 (B) 和产投比 (C) 的影响

Fig.3 Effects of ratio of controlled release N fertilizer and common urea on output (A), fertilization profit (B), and ratio of output to input (C) of spring maize

2.6 春玉米控释氮肥的适宜掺混比例

利用线性方程和一元二次方程对各试验中春玉米的产量、氮肥偏生产力和施肥利润与控释氮肥掺混比例之间的关系进行拟合 (表6)。2009范家屯和2010陶家屯点3项指标与控释氮肥掺混比例均呈显著线性相关, 其余试验则为显著的一元二次关系。根据模型方程, 以产量为指标时各试验春玉米的控释氮肥最佳掺混比例分布在

26.0% ~ 45.0%之间, 以氮肥偏生产力为指标时分布在25.9% ~ 45.0%之间, 而以施肥利润为指标时分布在25.3% ~ 45.0%之间。

图4显示, 春玉米产量、氮肥偏生产力和施肥利润整体上与控释氮肥掺混比例均存在显著的一元二次关系。以 x 为控释氮肥掺混比例 (%), 各方程模型分别为: $y_{产量} = -0.794x^2 + 55.8x + 9129$ ($R^2 = 0.997^{**}$), $y_{氮肥偏生产力} = -0.005x^2 + 0.338x + 55.3$ ($R^2 =$

表6 以产量、氮肥偏生产力和施肥利润为指标的春玉米控释氮肥最佳掺混比例

Table 6 Optimal ratio of controlled release N fertilizer and common urea for spring maize based on grain yield, partial factor productivity of N fertilizer, and fertilization profit

年份 Year	地点 Site	模型类型 Model type	控释氮肥最佳掺混比例 Optimal blending ratio of controlled release N fertilizer (%)					
			产量 Grain yield	决定系数 R^2	氮肥偏生产力 Partial factor productivity of N fertilizer	决定系数 R^2	施肥利润 Fertilization profit	决定系数 R^2
2009	范家屯 Fanjiatun	线性 Linear	45.0	0.942**	45.0	0.942**	45.0	0.934**
	陶家屯 Taojiatun	一元二次 Quadratic curve	26.0	0.924**	25.9	0.924**	25.3	0.919**
	梨树 Lishu	一元二次 Quadratic curve	28.2	0.998**	28.2	0.998**	26.7	0.998**
2010	陶家屯 Taojiatun	线性 Linear	45.0	0.994**	45.0	0.994**	45.0	0.993**
	梨树 Lishu	一元二次 Quadratic curve	35.6	0.998**	35.9	0.996**	34.6	0.998**
	兴隆 Xinglong	一元二次 Quadratic curve	33.1	0.957**	33.3	0.958**	31.0	0.944**
	万昌 Wanchang	一元二次 Quadratic curve	34.4	0.996**	34.6	0.997**	33.6	0.997**
2011	兴隆 Xinglong	一元二次 Quadratic curve	29.0	0.956**	29.0	0.956**	28.3	0.952**
	万昌 Wanchang	一元二次 Quadratic curve	42.2	0.989**	42.5	0.990**	39.7	0.987**

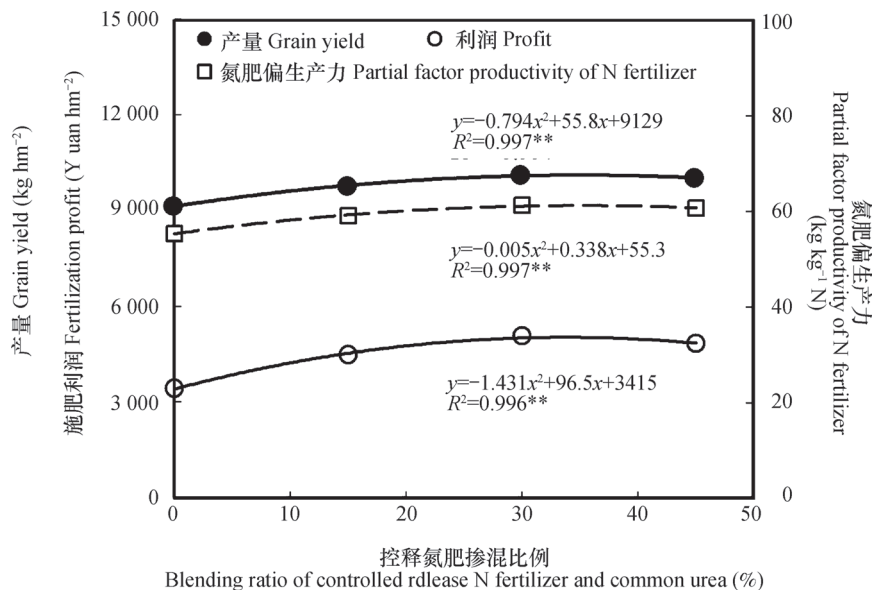


图4 春玉米产量、氮肥偏生产力和施肥利润与控释氮肥掺混比例的关系

Fig.4 Relationships between grain yield, partial factor productivity of N fertilizer, and fertilization profit of spring maize with the ratio of controlled release N fertilizer and common urea

$= 0.997^{**}$), $y_{\text{施肥利润}} = -1.431x^2 + 96.5x + 3415$ ($R^2 = 0.996^{**}$)。根据以上模型推算, 获得最高产量、最佳氮肥利用率和最高施肥利润的控释氮肥掺混比例分别为35.1%、33.7%和35.2%。可见, 从产量、氮素效率和经济效益等方面综合考虑控释氮肥的最佳掺混比例应在30%~35%。

3 讨论

科学施肥措施应以作物生长发育进程和养分需求规律为基础, 确保关键生育期养分供应, 促进物质生产与养分累积从而获得高产, 同时发挥最佳的养分利用效率^[24]。刘景辉和刘克礼^[5]研

究显示，春玉米苗期吸氮量较少，仅占全生育期的6%~7%，而拔节期至散粉吐丝期为氮素吸收高峰，吸氮量占全生育期的57.2%~70.2%。曹国军等^[6]对超高产春玉米的研究发现，植株在拔节至吐丝期间出现吸氮高峰，至灌浆期的氮素累积量占总吸氮量的72.5%。因此，春玉米氮肥管理一般推荐进行分次施肥，即基肥+拔节期追肥^[21, 25-26]。在当前农民大范围采用一次性施肥措施而控释肥价格又相对偏高的情况下，将控释氮肥与普通尿素进行掺混施用既可满足农民一次性施肥意愿，又可减少施肥投入并避免大量氮肥基施可能造成的养分损失和环境风险^[17-20]。本研究所用控释氮肥释放期在60 d左右，氮素释放高峰基本处于春玉米拔节后期至吐丝期，将其与普通尿素掺混施用在理论上可较好匹配春玉米生育期的氮素需求。研究发现，不同施氮处理间春玉米拔节期前的生长差异较小，而拔节后控释氮肥掺混施用处理较普通尿素全施处理更有利于植株生长发育。造成此现象的原因可能是试验区域土壤主要为偏黏性的黑土和白浆土，土壤供肥及保肥能力较强，不同量尿素基施后春玉米前期生长所需氮素均可基本满足，因而处理间差异较小。进入拔节期后，光、热条件转好促使春玉米生长加速，氮素需求也显著提高，此时控释氮肥也进入释放高峰，因而控释氮肥比例越高其释放进入土壤的速效氮素也越多，促进了春玉米氮素吸收和生长发育。鱼欢等^[25]研究发现玉米拔节期叶片SPAD值与叶片氮含量显著相关，说明控释氮肥掺混施用不仅可增加春玉米拔节期的光合器官数量，同时也可改善氮营养状况、增强光合能力。综上，控释氮肥与普通尿素按适当比例掺混施用有助于实现春玉米氮素的阶段化供应，满足植株氮素需求高峰而促进生长，而这也有利于后期的氮素转运和产量形成^[27]。

玉米产量构成因素包括收获穗数、穗粒数和粒重，其中收获穗数和穗粒数对产量贡献最大，是决定群体高产的主要因素^[28-30]。本研究发现控释氮肥施用对春玉米穗粒数的增加最为显著，其次是收获穗数，而百粒重变化较小。收获穗数受种植密度和成穗率决定，控释氮肥施用通过改善植株生长状况提高了成穗率，从而增加收获穗数和产量。粒重主要与品种本身特性有关，受其他因素影响较小^[30]。王崇桃和李少昆^[29]通过总结我国2005—2008年间57块玉米吨粮田产量形成特征认为，构

建良好群体结构在较高收获穗数基础上保证较高的穗粒数是实现玉米高产的重要途径。本研究采取控释氮肥与普通尿素掺混的手段，在促进玉米成穗同时有效增加穗粒数，因而提高了产量水平。

当前，东北春玉米有关控释氮肥与普通尿素掺混施用措施的研究较少，而且都是基于单个试验或单个年份的特定环境进行，其结果的局限性较强。本研究通过多环境大田试验发现，除2011年万昌点无明显效果外，所有试验中控释氮肥与普通尿素进行掺混均表现出显著的增产效果。但是，不同试验点和试验年份间春玉米的产量水平及其对控释氮肥施用的响应趋势并不一致。本研究各试验田块土壤养分状况接近、种植和管理措施一致，因此导致春玉米表现差异的原因可能主要是不同环境下气候条件的变化。吉林省中部春玉米生育期内常年降水量一般为400~500 mm，2009年梨树点8、9月降水偏少，可能影响了春玉米的吐丝和灌浆而导致产量水平相对较低，2010年陶家屯点7、8月降水过多，对春玉米开花和授粉可能造成不利影响而使产量低于2009年。相关分析发现，除2009年范家屯外，各试验春玉米的控释氮肥最佳掺混比例与生育期降水量显著正相关（ $y=0.027x+17.5$ ， $R^2=0.528^*$ ），尤其是5月份降水量更呈现极显著的正相关关系（ $y=0.127x+22.6$ ， $R^2=0.778^{**}$ ）。推测其原因，可能是降水过多增加了土壤氮素损失^[31]，控释氮肥掺混比例高有利于补充中后期氮素的供应，满足春玉米氮素需求高峰而促进生长发育。此外，不同玉米品种对气候条件变化的响应存在差异^[32-33]，这可能也是导致产量水平和控释氮肥掺混比例产生差异的一方面原因。由此也说明，通过单一特定环境或品种得到的试验结果可能不具有普遍适用性，而特定因素如土壤、气候和品种等对控释氮肥掺混比例的影响也仍需进一步研究以明确其作用机制。

本研究结果显示，以产量为指标计算的春玉米适宜掺混比例分布在26%~45%之间，平均为35.1%，与衣文平等^[19]的研究接近，而低于谢佳贵^[20]和尹彩侠^[7]等的结果。除促进生长保证高产，增加经济收益和提高氮素效率也是控释氮肥和普通尿素掺混施用的重要目的。尽管掺混控释氮肥增加了肥料投入成本，但其带来的经济收益仍明显高于普通尿素全施处理。本研究各试验春玉米的施肥利润和产投比整体在控释氮肥掺混比例为

33.7%时达到最高,与衣文平等^[34]在夏玉米上的研究结果接近。氮肥偏生产力是国际农学中表征氮肥效率的重要指标,当前我国玉米生产中氮肥偏生产力平均为 $51.6 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ ^[35],而高产田更低,平均为 $39.0 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ ^[29]。本研究显示控释氮肥与普通尿素掺混施用显著提高氮肥偏生产力,从CRN0%处理的 $55.4 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ 增加至CRN30%处理的 $61.3 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$,同时降低了作物对土壤氮素的依存率。说明此措施增加了春玉米对肥料氮素的利用,减少肥料氮素损失和土壤氮素消耗,也相应降低了环境风险。

李红莉等^[36]研究显示,我国玉米单产在2000—2007年间增长了7.9%,而单位面积肥料用量增加了29.0%,其中氮肥增加了37.3%,可见经济收益和氮肥利用率是明显下降的。徐振华等^[37]调查发现,目前吉林省春玉米生产中低产、低效和低收农户比例达47%,而改变此状况的重要途径是在不增加投入情况下对栽培管理技术与措施进行优化,通过产量提升而实现农民收入增加和氮肥利用率提高,即“以增产带增效”。本研究证实,控释氮肥与普通尿素掺混施用技术有效满足春玉米拔节期的氮素需求,促进生长发育和产量形成,可实现产量、经济效益和氮素效率的同步提高,因此在目前国家提倡农用化肥“零增长”和绿色增产模式发展中可作为促进春玉米增产增收高效的一项有力栽培措施进行推广应用。

4 结 论

控释氮肥与普通尿素掺混施用有效促进春玉米生长发育和产量形成,拔节期显著增加叶片数并提高叶片SPAD值,成熟期显著提高穗粒数和收获穗数。随控释氮肥掺混比例增加,春玉米的产量、施肥利润和氮肥偏生产力均显著提高,而土壤氮素依存率显著下降,各指标均在掺混比例超过30%后不再变化。春玉米的产量、氮肥偏生产力和施肥利润整体上与控释氮肥掺混比例均存在极显著一元二次关系,基于此三项指标推算出控释氮肥的适宜掺混比例分别为35.1%、35.2%和33.7%。综合各方面表现确定春玉米控释氮肥的最佳掺混比例为30%~35%。

参 考 文 献

- [1] 李少昆,王崇桃. 中国玉米生产技术的演变与发展. 中国农业科学, 2009, 42 (6): 1941—1951. Li S K, Wang C T. Evolution and development of maize production techniques in China (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42 (6): 1941—1951
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2014. National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook (In Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2014
- [3] 高强,李德忠,汪娟娟,等. 春玉米一次性施肥效果研究. 玉米科学, 2007, 15 (4): 125—128. Gao Q, Li D Z, Wang J J, et al. Effects of single fertilization for spring maize (In Chinese). Journal of Maize Sciences, 2007, 15 (4): 125—128
- [4] 杨俊刚,高强,曹兵,等. 一次性施肥对春玉米产量和环境效应的影响. 中国农学通报, 2009, 25 (19): 123—128. Yang J G, Gao Q, Cao B, et al. Effect of single fertilization on spring maize yield and environment (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (19): 123—128
- [5] 刘景辉,刘克礼. 春玉米需氮规律的研究. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15 (3): 12—18. Liu J H, Liu K L. A study on the regularity of nitrogen requirement in spring maize (In Chinese). Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry, 1994, 15 (3): 12—18
- [6] 曹国军,刘宁,李刚,等. 超高产春玉米氮磷钾的吸收与分配. 水土保持学报, 2008, 22 (2): 198—201. Cao G J, Liu N, Li G, et al. Study on absorption and distribution of nitrogen phosphorus and potassium in super-high yield spring maize (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22 (2): 198—201
- [7] 尹彩侠,孔丽丽,侯云鹏,等. 控释氮肥在玉米上的施用效果. 吉林农业科学, 2011, 36 (4): 24—27. Yin C X, Kong L L, Hou Y P, et al. Effect of applying control released nitrogen fertilizers on maize (In Chinese). Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2011, 36 (4): 24—27
- [8] 隗英华,汪仁,孙文涛,等. 春玉米产量、氮素利用及矿质氮平衡对施氮的响应. 土壤学报, 2012, 49 (3): 544—551. Juan Y H, Wang R, Sun W T, et al. Response of spring maize to nitrogen application in grain yield, nitrogen utilization and mineral nitrogen balance (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (3): 544—551
- [9] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus.

- Science, 2009, 323 (5917) : 1014—1015
- [10] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327 (5968) : 1008—1010
- [11] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China. Nature, 2013, 494 (7438) : 459—462
- [12] Azeem B, KuShaari K, Man Z B, et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. Journal of Controlled Release, 2014, 181: 11—21
- [13] Noellsch A J, Motavalli P P, Nelson K A, et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. Agronomy Journal, 2009, 101: 607—614
- [14] 王永军, 孙其专, 杨全胜, 等. 不同地力水平下控释尿素对玉米物质生产及光合特性的影响. 作物学报, 2011, 37 (12) : 2233—2240. Wang Y J, Sun Q Z, Yang J S, et al. Effects of controlled-release urea on yield and photosynthesis characteristics of maize (*Zea mays* L.) under different soil fertility conditions (In Chinese). Acta Agronomica Sinica, 2011, 37 (12) : 2233—2240
- [15] Zhao B, Dong S T, Zhang J W, et al. Effects of controlled-release fertiliser on nitrogen use efficiency in summer maize. Public Library of Science One, 2013, 8 (8) : e70569
- [16] Dí ez J A, Roman R, Cartagena M, et al. Controlling nitrate pollution of aquifers by using different nitrogenous controlled release fertilizers in maize crop. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1994, 48: 49—56
- [17] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响. 作物学报, 2012, 38 (4) : 699—706. Li W, Li X H, Li H Y, et al. Effects of different mixing rates of controlled-release urea and common urea on grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize (In Chinese). Acta Agronomica Sinica, 2012, 38 (4) : 699—706
- [18] Farmaha B S, Sims A L. The influence of polymer-coated urea and urea fertilizer mixtures on spring wheat protein concentrations and economic returns. Agronomy Journal, 2013, 105: 1328—1334
- [19] 衣文平, 毕长海, 屈浩宇, 等. 树脂包膜尿素与普通尿素不同配比在春玉米上的应用研究. 核农学报, 2013, 27 (9) : 1385—1390. Yi W P, Bi C H, Qu H Y, et al. Application of different amount of controlled-release coated urea combined with conventional urea on spring maize (In Chinese). Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27 (9) : 1385—1390
- [20] 谢佳贵, 尹彩侠, 张路, 等. 春玉米控释氮肥施用技术研究. 玉米科学, 2009, 17 (5) : 145—147. Xie J G, Yin C X, Zhang L, et al. Study on controlled release nitrogen fertilizer application technique for spring maize (In Chinese). Journal of Maize Sciences, 2009, 17 (5) : 145—147
- [21] 吉林省农业委员会. DB 22/T 2073—2014吉林省玉米施肥技术规程. 长春: 吉林省质量技术监督局, 2014. Agriculture Committee of Jilin Province. DB 22/T 2073—2014 Fertilization technical regulation of corn (In Chinese). Changchun: Quality and Technological Supervision of Jilin Province, 2014
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [23] 李云. 土壤科学与农业持续发展//中国土壤学会编写组. 中国科学与农业可持续发展. 北京: 中国科学技术出版社. 1994: 219—223. Li Y. Soil science and continuous agricultural development//Soil Science Society of China. Chinese science and continuous agricultural development (In Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 219—223
- [24] 张福锁, 陈新平, 陈清. 中国主要农作物施肥指南. 北京: 中国农业大学出版社, 2009. Zhang F S, Chen X P, Chen Q. Fertilization guidelines of main crops in China (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2009
- [25] 鱼欢, 杨改河, 王之杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (2) : 266—273. Yu H, Yang G J, Wang Z J. Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16 (2) : 266—273
- [26] Randall G W, Vetsch J A, Huffman J R. Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by time of nitrogen application and nitrapyrin. Agronomy Journal, 2003, 95 (5) : 1213—1219
- [27] 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. 玉米科学, 2009, 17 (1) : 128—131. Wang C H, Chen S L, Dong N, et al. The effects of different nitrogen applications on yield and quality of maize in north China plain (In Chinese). Journal of Maize Sciences, 2009, 17 (1) : 128—131
- [28] 陈国平, 高聚林, 赵明, 等. 近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术. 作物学报, 2012,

- 38 (1) : 80—85. Chen G P, Gao J L, Zhao M, et al. Distribution, yield structure, and key cultural techniques of maize super-high yield plots in recent years (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38 (1) : 80—85
- [29] 王崇桃, 李少昆. 玉米高产产量形成特征及其验证. 科技导报, 2013, 31 (25) : 61—67. Wang C T, Li S K. Characteristic analysis and verification for high-yielding corn in China (In Chinese). *Science & Technology Review*, 2013, 31 (25) : 61—67
- [30] 曹国军, 耿玉辉, 叶青, 等. 超高产春玉米产量构成特性分析. 玉米科学, 2012, 20 (5) : 80—83. Cao G J, Geng Y H, Ye Q, et al. Yield component characteristic of the spring maize with super-high yield (In Chinese). *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20 (5) : 80—83
- [31] Rodrigues M Â, Santos H, Ruivo S, et al. Slow-release N fertilisers are not an alternative to urea for fertilisation of autumn-grown tall cabbage. *European Journal of Agronomy*, 2010, 32: 137—143
- [32] 钱锦霞, 郭建平. 东北地区春玉米生长发育和产量对温度变化的响应. 中国农业气象, 2013, 34 (3) : 312—316. Qian J X, Guo J P. Response of maize growth and yield to temperature change in northeast China (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2013, 34 (3) : 312—316
- [33] 崔震海, 马兴林, 张立军, 等. 苗期干旱对玉米产量和水分利用效率的影响. 玉米科学, 2005, 13 (2) : 79—81. Cui Z H, Ma X L, Zhang L J, et al. Effects of drought stress during seedling stage on yield and water use efficiency of maize (In Chinese). *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13 (2) : 79—81
- [34] 衣文平, 朱国梁, 武良, 等. 不同量的包膜控释尿素与普通尿素配施在夏玉米上的应用研究. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (6) : 1497—1502. Yi W P, Zhu G L, Wu L, et al. Application of different release duration controlled-release coated urea combined with conventional urea on summer maize (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16 (6) : 1497—1502
- [35] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 2008, 45 (5) : 915—924. Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (5) : 915—924
- [36] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (5) : 1136—1143. Li H L, Zhang W F, Zhang F S, et al. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16 (5) : 1136—1143
- [37] 徐振华, 郭彩娟, 马文奇, 等. 典型区域粮食作物产量、养分效率和经济效益关系实证研究. 中国农学通报, 2011, 27 (11) : 116—122. Xu Z H, Guo C J, Ma W Q, et al. Study on the relationship among yield, nutrient efficiency and benefits of grain crop in typical regional areas of China (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (11) : 116—122

OPTIMIZING BLENDING RATIO OF CONTROLLED RELEASE N FERTILIZER FOR SPRING MAIZE BASED ON GRAIN YIELD, N EFFICIENCY, AND ECONOMIC BENEFIT

Wang Yin¹ Feng Guozhong¹ Zhang Tianshan² Ru Tiejun² Yuan Yong¹ Gao Qiang^{1†}

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Soil Resources in the Commodity Grain Bases in Jilin Province, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

(2 Sino-Arab Chemical Fertilizer Company, Qinhuangdao, Heibei 066003, China)

Abstract Northeast China is the main spring maize production base of China. It is of great significance to stabilize and keep on raising yield of the crop in this region in guaranteeing development of the maize-related industry and food security in China. The technique of blending controlled release N fertilizer (CRN) with common urea once for ado can be used in fertilization of maize not only to regulate the supply of available and slowly available N so as to meet the demand of the crop for N during its growing season, but also to reduce fertilizer and labor input cost to increase economic profit. However, so far little has been reported on

researches on such techniques for spring maize in Northeast China, and is known of effects of the use and proper ratio of such a blend. Therefore, 3-year-long multi-site field experiments were carried out to explore effects of the blending on growth at the jointing stage, grain yield and yield composition at maturity, N use efficiency, and economic profit of spring maize relative to blending ratio and environment, so as to define effect of the use and optimal ratio of the blend by determining relationships of ratio of the blend with grain yield, partial factor productivity of N fertilizer (PFPN), and fertilization profit of spring maize. The 3-year-long (2009 to 2011) multi-site field experiments consisted of nine experiments in the major maize production area in Central Jilin Province and were designed to have five fertilization treatments, i. e. Treatment I (No N fertilizer) ; Treatment II (100% common urea) ; Treatment III (15% CRN and 85% common urea) ; Treatment IV (30% CRN and 70% common urea) , and Treatment V (45% CRN and 55% common urea) . Total N fertilization rate was kept consistent for all the treatments, being 185 kg hm^{-2} during the growing season. The results showed that a higher proportion of CRN in the blend improved spring maize in plant height and leaves in number and SPAD at the jointing stage, but did not affect much stem diameter. Summary of the nine experiments indicated that both grain yield and fertilization profit of spring maize increased significantly with increasing blending ratio of CRN, and reached the highest, 10.12 t hm^{-2} and $5\ 071 \text{ yuan hm}^{-2}$, respectively, in Treatment IV, being 0.98 t hm^{-2} (10.8%) and $1\ 639 \text{ Yuan hm}^{-2}$ (47.8%) higher than that in Treatment II, respectively. The effect of higher blending ratio of CRN increasing grain yield of spring maize was mainly attributed to the significantly increased number of kernels per ear at the maturing stage, and also to the increased ear number. A rising proportion of CRN in the blend increased significantly PFPN of spring maize, but reduced significantly contribution rate of soil N (CRSN), till it reached 30%. In all the nine sites of the experiment, significant quadratic relationships were observed of blending ratio of CRN with grain yield, PFPN, and fertilization profit of spring maize. For the above three parameters, the optimal blending ratio of CRN for spring maize was figured out to be 35.1%, 35.2%, and 33.7%, respectively. Obviously, blending of CRN with common urea in fertilization is conducive to growth of spring maize, higher yield of grains, higher N use efficiency, and higher economic benefit. Based on all the findings in the experiment, the optimal blending ratio of CRN for spring maize production in Northeast China is worked out to be 30% ~ 35%.

Key words Spring maize; Blending ratio of controlled release N fertilizer; Growth; Grain yield; Nitrogen efficiency; Economic benefit

(责任编辑：卢 萍)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
 Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
 Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
 Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
 Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
 Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
 Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
 Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
 Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
 Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
 Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
 Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
 Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
 Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
 Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
 Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
 Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
 Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
 Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon-Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
 Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
 Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans* (by Wang Yingli)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 5 Sep., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156