

普通、控释尿素比对玉米物质积累及产量的影响

郭萍¹, 黄科程², 李孝东², 朱从桦³, 龙文靖⁴, 袁继超¹, 孔凡磊¹

(1. 四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 成都 611130; 2. 中江县农技站, 四川 中江 618100; 3. 中国水稻研究所, 杭州 310006; 4. 四川省农业科学院水稻高粱研究所, 四川 德阳 618000)

摘要: 以普通尿素和包膜控释尿素为供试材料, 设置5种普通尿素与控释尿素配比处理, 分别为 CRU0—100%普通尿素, CRU1—75%普通尿素+25%控释尿素, CRU2—50%普通尿素+50%控释尿素, CRU3—25%普通尿素+75%控释尿素和 CRU4—100%控释尿素, 以 CK1—不施氮肥和 CK2—常规施氮(普通尿素 60%基施+40%大喇叭口期追施)为对照, 研究控释尿素与普通尿素配施对玉米农艺性状、干物质积累分配及产量的影响。结果表明: (1)施氮显著提高了玉米株高、穗位高和叶面积, 与常规施氮处理相比, 普通、控释尿素配施可提高株高、穗位高、茎粗和叶面积, 其中 75%控释尿素处理提高显著。 (2)与常规施氮处理相比, 普通、控释尿素配施处理促进吐丝期干物质积累, 最终增加成熟期总干物质质量, 其中以 CRU2 和 CRU3 处理最好。 (3)与常规施氮处理相比, 普通、控释尿素配施处理的干物质在叶片和茎秆中的分配比例均较低, 而籽粒的分配比例较高, 以 CRU3 处理比例最高。 (4)随控释尿素比例增加, 玉米产量、千粒重、穗粒数、穗长和穗粗均呈先升后降的趋势; 25%, 50%, 75%, 100%的控释尿素比例处理产量较常规施氮处理分别增产 3.70%, 8.83%, 11.23%, 5.43%。因此, 普通尿素掺混 75%比例的控释尿素进行一次底施, 既能满足玉米植株生长需求, 提高干物质积累, 优化干物质分配, 又可促进增产。

关键词: 控释尿素; 玉米; 产量; 干物质积累与分配

中图分类号: S147.3; S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0191-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.01.032

Effects of Combined Application of Control-released Urea and Urea on Dry Matter Accumulation and Yield of Maize

GUO Ping¹, HUANG Kecheng², LI Xiaodong², ZHU Conghua³,

LONG Wenjing⁴, YUAN Jichao¹, KONG Fanlei¹

(1. College of Agricultural, Sichuan Agricultural University, Key Laboratory of Crop

Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130;

2. Agriculture Technology Station of Zhongjiang, Zhongjiang, Sichuan 618100; 3. China National Rice Research Institute,

Hangzhou 310006; 4. Rice and Sorghum Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Deyang, Sichuan 618000)

Abstract: Controlled-release urea (CRU) and urea (U) were used to investigate the effects of five proportions of controlled-release urea blended with urea (100% CRU, 25% U+75% CRU, 50% U+50% CRU, 75% U+25% CRU, 100% U) and two controls (no N fertilization, CK1), conventional fertilization (CK2, 60% U as basal and 40% U top-dressed) on agronomic characters, dry matter accumulation and distribution, and yield in maize. Results were as follows: (1) Nitrogen supply could increase the plant height, ear height, and leaf area, compared to the CK2 treatment, the combination applications of controlled-release urea with urea could increase the plant height, ear height, stalk diameter, and leaf area, improvement effect of the mixing ratio of 75% treatment were the most strong among them. (2) Compared to the CK2 treatment, the combination applications of controlled-release urea with urea could meet demand of life on jointing stage, promote dry matter accumulation on silking stage, and dry matter quantity were improved finally, improvement effect of the mixing ratio of 50%—75% treatments were the most strong among them. (3) Compared to the CK2 treatment, the dry matter of the combination applications of controlled-release urea with urea were lower on distribution proportion of the stalk and leaf, however, the distribution proportion of grain increased, the most in the mixing ratio of 75% treatment. (4) With different ratio of controlled-release urea were always

收稿日期: 2016-09-24

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503127); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD04B13); 四川省科技支撑计划项目(2014NZ0040); 四川省玉米产业技术体系岗位专家项目

第一作者: 郭萍(1991—), 女, 湖南常德人, 硕士, 科研助理, 主要从事种植制度和区域农业理论与技术研究。E-mail: 876557535@qq.com

通信作者: 孔凡磊(1985—), 男, 山东曲阜人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农作制度与作物生理生态研究。E-mail: kflstar@163.com

higher, the yield, 1 000-kernel weight, the grains per spike, ear length, and ear diameter increased firstly and then gradually decreased. The yield of the mixing ratio of 25%, 50%, 75%, and 100% increased by 3.70%, 8.83%, 11.23%, and 5.43% than the CK2. Therefore, applying controlled-release urea with a mixing ratio of 75% of basal dressing was most beneficial to meet the demand of life of maize, promote dry matter accumulation and distribution, and also could increase yield.

Keywords: control-released urea; maize; yield; dry matter accumulation and distribution

玉米是我国三大作物之一,其产量高低直接影响国家粮食安全和玉米产业的发展^[1]。玉米对氮素的需求量较多^[2],一方面土壤自身氮素供应不足以满足玉米高产和优质,因此玉米生产中需要连年投入大量氮肥;另一方面,施入土壤的氮肥大部分通过反硝化、径流、渗透等途径而损失,大大降低了氮肥的利用效率^[3]。目前生产上常用的氮肥分为速效肥和缓效肥,速效肥多以普通尿素为主,且在生产应用上占主导地位,速效肥需多次大量施用才能满足高产,氮肥利用率仅为 30%~35%^[4],且环境代价大^[3,5];而缓效肥多以包膜控释尿素为主,控释尿素作为一种新型氮肥,可根据作物对养分的需求控制其养分释放模式,使养分释放与作物养分吸收基本同步^[6],氮素利用率高达 60%~70%,而且不受土壤类型等复杂因素的影响,被称为是 21 世纪的肥料^[7]。生育期内干物质积累与分配是决定玉米籽粒产量高低的重要因素之一^[8-11],吐丝后干物质的积累与分配对经济产量的影响最大^[12],而控释尿素一次基施可促进植株生长^[13-14],能通过提高生育后期干物质积累量实现高产^[15-16]。但是控释尿素一次基施容易导致生育前期植株生长缓慢、干物质积累较低、价格成本过高等问题^[17-18]。而控释尿素掺混普通尿素施用能更合理地协调玉米全生育期的养分供求关系,保证其高产,降

低生产成本^[19-20]。50%的控释氮肥与普通尿素配合追施增产最高^[21-22]。控释尿素掺混普通尿素一次基施能改善生理特性^[17,23],提高氮素积累^[23]、氮肥利用率^[20,24]和产量^[25-26],但有关普通、控释尿素配施条件下玉米干物质积累和分配,及产量形成规律的研究却鲜见报道。为此,本文通过分析比较不同控释尿素和普通尿素配施对玉米农艺性状、干物质积累分配和产量的影响,探索四川丘陵雨养旱地最适的控释尿素和普通尿素施用比例,以期为本区制定玉米高产高效的配方施肥及新型配方肥的生产提供理论依据。

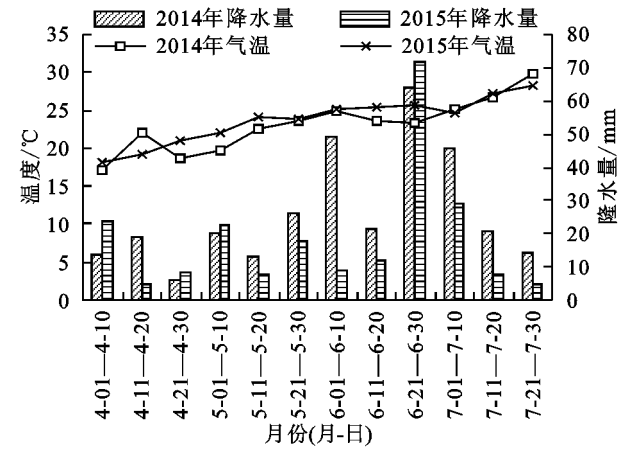
1 材料与方法

1.1 供试材料与试验地概况

试验于 2014 年 3 月 28 日至 2015 年 8 月 1 日分别在简阳市芦葭镇英明村(30°28' N,104°51' E)和德阳市中江县合兴乡新建村(30°95' N,104°63' E)进行,试验地玉米生育期间降水主要集中在 6—7 月份,而 2015 年 6 月上旬和 7 月中下旬降雨量明显减少,出现阶段性干旱(图 1)。简阳试验田耕层土壤质地为紫色壤土,中江试验田耕地为黄色壤土,具体肥力水平见表 1。玉米品种为正红 505(半紧凑型玉米,生育期 118 d);肥料种类为树脂包膜控释尿素(CRU,山东金正大生态工程股份有限公司生产,氮含量≥43%)和普通尿素(U,氮含量≥46%)。

表 1 供试土壤基础肥力

试验地	pH	有机质/(mg·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
简阳	7.59	13.91	40.90	3.2	129.3
中江	7.60	30.95	71.03	3.1	67.1



注:2014 年气温和降水量为简阳气象数据,2015 年气温和降水量为德阳中江气象数据。

图 1 玉米生育期间气温和降水量

1.2 试验设计

试验于 2014 年—2015 年进行,3 月 28 日播种,采用宽窄行种植,2014 年宽行 1.6 m,窄行 0.4 m,行株距为 0.2 m,种植密度约 50 000 株/hm²;2015 年宽行 1.4 m,窄行 0.4 m,行株距为 0.2 m,种植密度约 55 555 株/hm²。起垄后浇足底水,采用地膜覆盖撬窝穴播 2 粒,两叶一心时间苗,四叶一心时定苗(每穴保留一株壮苗),采用普通、控释尿素配比单因素试验。

设置 5 种普通、控释尿素配比:100%控释尿素(CRU),25%普通尿素+75%CRU,50%普通尿素+50%CRU,75%普通尿素+25%CRU 和 100%普通尿素;2 个对照:不施氮肥和常规施氮(氮肥分 2 次施入,其中全氮的 60%作底肥施入,全氮的 40%作追肥

于大喇叭口期追施。), 分别记为: CRU4、CRU3、CRU2、CRU1、CRU0、CK1、CK2。

所有小区均施纯氮 225 kg/hm², K₂O(氯化钾, 含 K₂O≥60%)90 kg/hm², P₂O₅(过磷酸钙, 含 P₂O₅≥12%)75 kg/hm², 磷、钾肥作基肥施用, 氮肥按照试验设计进行。试验设置 3 次重复, 共 7×3=21 个小区, 小区面积 18 m², 其他田间管理同当地高产田块。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积 分别在玉米生长的不同生育阶段:5 月 7 日(拔节期)、6 月 11 日(吐丝期)选取有代表性植株 4 株, 测定每株绿叶叶片的长与宽, 按照公式计算叶面积(叶面积=长×宽×0.75)。

1.3.2 株高、穗位高及茎粗 分别在玉米生长的不同生育阶段:5 月 7 日(拔节期)、6 月 11 日(吐丝期)选取有代表性植株 10 株, 测定每株株高及茎粗(茎秆基部)。于吐丝期在每个小区选择有代表性植株 10 株, 测定每株穗位高。

1.3.3 植株千重 分别在玉米生长的不同生育阶段:5 月 7 日(拔节期)、6 月 11 日(吐丝期)、8 月 1 日(成熟期)选取代表性植株 5 株, 按照叶片、茎鞘(含叶鞘和雄穗)、苞叶+穗轴和籽粒分开, 放入烘箱中, 105

℃杀青 30 min, 80 ℃烘干至恒重并称重。

1.3.4 考种与计产 8 月 1 日(成熟期)于每个小区选取 20 个代表性果穗, 调查穗长、穗粗、穗粒数、千粒重等产量构成因素, 并按田间实收株数收获计产。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 软件对数据进行处理和作图, DPS 7.05 软件进行统计分析, 用最小显著差法 LSD 检验平均数。

2 结果与分析

2.1 普通和控释尿素配施对玉米植株农艺性状的影响

由表 2 可以看出, 施氮显著提高了玉米拔节期和吐丝期的株高、穗位高、茎粗、叶面积。控释尿素与普通尿素配施处理(CRU1, CRU2, CRU3)玉米拔节期和吐丝期株高、茎粗、穗位高和叶面积均高于常规施氮处理(CK2), 其中吐丝期 CRU3 处理株高显著高于常规施氮处理。普通尿素与控释尿素配施处理株高、茎粗和叶面积均随控释尿素比例增加呈先增后降的趋势, 但处理之间差异不显著。普通尿素和控释尿素适宜的配施比例可促进植株的生长, 而过高的控释尿素比例不利于植株个体生长。

表 2 普通和控释尿素配比对玉米植株农艺性状的影响(2015 年)

控氮比	株高/cm		茎粗/cm		穗位高/cm	每株叶面积/cm ²	
	拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期		拔节期	吐丝期
CK1	67.55 b	198.81 c	1.536 b	2.074 b	76.57 c	1080.3 b	5958.8 b
CK2	74.20 a	209.33 b	1.692 a	2.188 ab	84.25 ab	1467.4 a	6760.3 a
CRU0	78.42 a	207.95 bc	1.726 a	2.151 ab	82.63 b	1497.4 a	6732.2 a
CRU1	76.45 a	213.37 ab	1.713 a	2.197 a	85.80 ab	1472.9 a	6791.4 a
CRU2	77.25 a	216.30 ab	1.745 a	2.198 a	87.45 ab	1506.5 a	6995.0 a
CRU3	78.30 a	220.91 a	1.750 a	2.201 a	89.64 a	1586.7 a	7104.2 a
CRU4	73.45 a	215.64 ab	1.681 a	2.236 a	88.80 a	1316.2 ab	6896.4 a

注: CRU0—100%普通尿素; CRU1—25%控释尿素掺混 75%普通尿素; CRU2—50%控释尿素掺混 50%普通尿素; CRU3—75%控释尿素掺混 25%普通尿素; CRU4—100%控释尿素; CK2—常规施氮; CK1—不施氮肥; 同列数据后不同字母表示同一样期处理间差异达到 5%显著水平。下同。

2.2 普通和控释尿素配施对玉米植株干物质积累的影响

由表 3 可以看出, 施氮显著提高了玉米各阶段单株干物质积累, 且施氮处理间单株干物质积累也存在显著差异。控释尿素与普通尿素配施处理(CRU1, CRU2, CRU3)拔节和吐丝期单株干物质积累量均高于常规施氮处理(CK2), 其中 2015 年 CRU3 处理 2 个时期单株干物质积累显著高于常规施氮处理(CK2)。拔节期各控氮比处理单株干物质积累量随控释尿素比例增加呈降低趋势, 2015 年 100%控释尿素处理(CRU4)显著低于其他施肥处理。吐丝期和成熟期普通尿素和控释尿素配施处理单株干物质积累均随控释氮肥比例的增加呈先增后降趋势, CRU3 处理最高, 2014 年和 2015 年的结果趋势基本一致,

但 2015 年处理之间差异更加明显。2015 年吐丝期 CRU2 和 CRU3 处理单株干物质积累均高于 CK2 处理, 且差异达显著水平。2015 年成熟期 CRU2, CRU3, CRU4 处理单株干物质积累均显著高于 CK2 处理。可见, 适宜的控氮比可促进玉米吐丝期及吐丝后干物质积累, 最终提高干物质积累量。

2.3 普通和控释尿素配施对玉米植株干物质分配的影响

干物质积累在各器官中的分配随生长中心转移而变化。从表 4 可看出, 拔节期到成熟期叶片的干物质积累量占全株干物质积累量的比例不断降低, 拔节期最高达 65.66%~70.95%; 茎秆的分配比例则呈先升后降趋势, 吐丝期最高达 45.99%~49.30%; 吐丝后, 穗(包括苞叶、穗轴和籽粒)的分配比例不断升高, 成熟期最高达

58.87%~63.35%。在拔节期和吐丝期,叶和茎依次成为玉米的生长中心;在成熟期,籽粒已成为光合产物的主要分配中心,分配比例最高,达 47.11%~49.31%。

表 3 普通和控释尿素对比对玉米植株干物质积累的影响
单位:×10⁻³ kg/株

控氮比	2014 年			2015 年		
	拔节期	吐丝期	成熟期	拔节期	吐丝期	成熟期
CK1	9.32 c	76.56 b	182.78 d	5.68 e	74.14 e	171.77 f
CK2	10.78 b	142.74 a	303.11 bc	9.13 c	91.47 c	235.15 d
CRU0	11.98 a	150.97 a	298.32 c	9.96 b	88.46 d	212.61 e
CRU1	10.83 b	153.03 a	303.68 bc	9.26 c	92.44 bc	253.63 cd
CRU2	10.90 b	161.37 a	323.42 b	9.38 c	94.90 b	275.60 ab
CRU3	12.69 a	161.00 a	347.49 a	10.45 a	100.51 a	285.33 a
CRU4	10.49 b	145.24 a	311.58 bc	7.83 d	93.45 bc	265.15 bc

表 4 普通和控释尿素对比对玉米植株干物质分配的影响
单位: %

试验年份	控氮比	拔节期		吐丝期			成熟期			
		叶片	茎鞘	叶片	茎鞘	穗	叶片	茎鞘	苞叶+穗轴	籽粒
2014 年	CK1	66.98 c	33.02 a	35.65 a	46.62 a	17.73 d	12.45 a	25.61 a	11.20 c	50.73 a
	CK2	68.86 ab	31.14 bc	29.52 b	45.96 a	24.52 bc	12.21 abc	23.72 ab	12.87 ab	51.21 a
	CRU0	69.08 a	30.92 c	29.65 b	46.25 a	24.09 c	12.32 ab	24.30 ab	12.36 bc	51.02 a
	CRU1	68.72 ab	31.28 bc	28.97 c	45.48 a	25.55 b	11.39 abc	22.99 ab	13.58 ab	52.04 a
	CRU2	68.59 ab	31.41 bc	28.84 c	43.01 b	28.16 a	11.25 bc	22.46 b	13.60 ab	52.70 a
	CRU3	67.44 bc	32.56 ab	28.68 c	42.01 b	29.32 a	11.10 c	21.92 b	13.92 a	53.07 a
	CRU4	68.76 ab	31.24 bc	28.97 c	45.54 a	25.49 b	11.43 abc	23.27 ab	13.52 ab	51.78 a
2015 年	CK1	64.34 c	35.66 a	36.55 a	51.97 a	11.48 d	15.01 a	29.18 a	12.33 b	43.48 b
	CK2	71.26 ab	28.74 bc	34.33 b	50.82 a	14.85 bc	14.29 ab	28.96 a	13.00 ab	43.75 b
	CRU0	72.82 a	27.18 c	34.68 b	51.29 a	14.03 c	14.40 ab	29.03 a	12.97 ab	43.60 b
	CRU1	72.20 ab	27.80 bc	34.16 b	50.39 a	15.44 abc	13.32 b	28.60 a	13.21 ab	44.87 ab
	CRU2	71.39 ab	28.61 bc	34.15 b	50.20 a	15.66 ab	13.23 b	27.99 a	13.79 a	44.99 ab
	CRU3	71.14 ab	28.86 bc	33.37 c	49.97 a	16.65 a	13.02 b	27.27 a	14.17 a	45.54 a
	CRU4	69.44 b	30.56 b	34.18 b	50.24 a	15.57 ab	13.60 ab	28.76 a	13.45 ab	44.19 ab

2.4 普通和控释尿素施肥对玉米产量及产量构成的影响

由表 5 可知,施氮显著提高了玉米产量、千粒重、穗粒数、穗长和穗粗,普通尿素和控释尿素施肥可不同程度地增加玉米产量。与常规施氮(CK2)处理相比,CRU1,CRU2,CRU3,CRU4 处理 2014 年产量分别增产了 2.71%,5.73%,8.27%,1.15%;2015 年产量分别增产了 4.68%,11.93%,14.19%,9.72%,且 CRU3 处理增产显著。普通尿素与控释尿素施肥处

拔节期普通尿素与控释尿素配施处理叶的分配比例随控氮比的增加而呈先降后升趋势,处理间差异不显著。吐丝期普通尿素与控释尿素配施处理叶和茎的分配比例均低于 2 对照和 CRU0 处理,且随控氮比的增加而呈先降后升趋势,而穗的分配比例随控氮比的增加而呈先增后降趋势。成熟期掺施控释尿素处理穗部(包括苞叶+穗轴、籽粒)的分配比例均高于 CRU0 和 2 对照处理,且随控氮比的增加而呈先增后降趋势。除 2015 年 CRU3 处理籽粒分配比例显著高于 CRU0 和 2 对照处理外,其他处理间无显著差异。适宜的普通尿素与控释尿素配施比例可促进玉米吐丝后茎、叶干物质向籽粒转移,最终提高籽粒干物质积累。

理千粒重、穗粒数、穗长和穗粗均随控氮比增加呈先增后减的变化,且以 CRU3 处理最高。与常规施氮(CK2)处理相比,普通尿素和控释尿素配施处理千粒重、穗粒数、穗长和穗粗均较高,2014 年 CRU3 处理穗长和穗粗显著高于常规施氮处理,而 2015 年 CRU3 处理千粒重和穗粒数显著高于常规施氮处理。可见,适宜的普通尿素和控释尿素比例可增加玉米千粒重、穗粒数、穗长和穗粗,改善穗部性状,促进灌浆结实,最终提高玉米产量。

表 5 普通和控释尿素对比对玉米产量及产量构成因子的影响

控氮比	2014 年					2015 年				
	产量/ (kg·hm ⁻²)	千粒 重/g	穗粒 数/粒	穗长/ cm	穗粗/ cm	产量/ (kg·hm ⁻²)	千粒 重/g	穗粒 数/粒	穗长/ cm	穗粗/ cm
CK1	7334.23 c	246.24 b	595.70 b	16.69 c	5.08 d	5458.2 d	237.59 d	413.52 d	15.73 c	4.57 e
CK2	9717.77 ab	262.74 a	739.80 a	18.27 b	5.27 bc	6855.7 bc	266.50 bc	462.84 bc	16.89 ab	4.85 cd
CRU0	9386.66 b	261.79 a	716.93 a	17.84 b	5.23 c	6438.9 c	263.45 c	439.81 c	16.33 bc	4.73 d
CRU1	9981.47 ab	263.66 a	757.14 a	18.70 ab	5.31 abc	7176.6 abc	273.89 abc	472.11 b	17.23 ab	4.93 bc
CRU2	10274.24 ab	265.93 a	772.57 a	18.94 ab	5.33 ab	7673.4 ab	276.03 ab	499.47 a	17.51 a	5.02 b
CRU3	10521.17 a	272.65 a	771.78 a	19.50 a	5.38 a	7828.7 a	278.36 a	506.41 a	17.53 a	5.18 a
CRU4	9829.37 ab	264.13 a	742.24 a	18.38 ab	5.29 bc	7521.8 ab	271.34 abc	497.46 a	17.50 a	5.01 b

3 讨论

玉米农艺性状易受氮素供应环境影响,氮肥供应充足时,植株枝叶繁茂、躯体高大^[8,27],通过合理的控释尿素与普通尿素配施有利于增加拔节期植株株高、茎粗和叶面积^[28]。此外,玉米氮素养分吸收还受地力影响,不同地力水平条件下控释尿素和普通尿素配施对玉米产量的影响存在差异,施氮量相同时,低地力水平下施用释放期较短的控释尿素为宜,而高地力水平下应施用释放期较长的控释尿素^[29]。本研究中,2个试验地土壤在有机质含量、速效钾含量、碱解氮等方面差异较大,2014年简阳地块有机质和碱解氮均低于中江地块,属低地力水平,而2015年中江地块属高地力水平。2014年产量平均比2015年高36.96%,但是2年中,控释氮肥对玉米产量存在影响,相比普通尿素来说,75%控释尿素产量2014年高8.27%,而2015年高14.19%,说明较高的控释尿素比例在不同地力水平下均能实现不同程度的增产,且更有利于高地力水平下实现高产。本研究表明,拔节期茎粗和叶面积均以75%的控释尿素比例(CRU3)最高,吐丝期株高和叶面积均以50%~75%的控释尿素比例(CRU2, CRU3)较高,而穗位高和茎粗表现为75%~100%的控释尿素比例(CRU3, CRU4)较高,表明基施较低量的普通尿素就能显著促进拔节期茎秆生长,而基施较高比例的控释尿素能促进吐丝期维持叶片繁茂,茎秆粗壮。这是由于普通尿素肥效较快,一定量的普通尿素可以满足植株生长需求,促进生育前期植株形态发展;而控释尿素肥效持续时间长,基施较高比例的控释尿素能够保证生育前期玉米植株的营养需求,更重要的是能够保证在生育后期为植株源源不断地提供足量的氮素养分,维持较高的叶面积,并且粗壮茎秆。因此,75%的控释尿素比例(CRU3)既能促进生育前期植株生长发育,又能维持生育后期繁盛的植株形态,使生育期内营养状态改善,光合物质生产能力增强,从而为高产打下坚实基础。

作物干物质的积累是产量形成的基础,玉米增产的途径是尽可能多提高生物产量并使干物质尽可能多地分配到经济器官^[15]。氮肥能显著提高植株干物质质量^[30],普通尿素与控释尿素配施处理吐丝期单株干物质积累量迅速增长,50%~75%的控释尿素比例(CRU2, CRU3)单株干物质积累量较高;成熟期普通尿素与控释尿素配施处理单株干物质积累量随控氮比的增加而呈先增后减趋势,且均高于常规施氮(CK2)。自拔节期到吐丝期,玉米叶干重占植株总重的比例随生育期的推进而逐渐降低,而茎鞘的分配比例逐渐升高。从吐丝期到成熟期,茎鞘和叶的分配比例随生育期的推进而逐渐降低,生长中心开始向穗部转移,籽粒的分配比例逐渐升高^[15],成熟期籽粒的分

配比例达47.11%~49.31%,2014年都超过50%。与单一肥料处理相比,在生育期内,普通、控释尿素配施处理叶的分配比例较小;吐丝期普通、控释尿素配施处理茎的分配比例较小;对于籽粒的分配比例来说,普通尿素与控释尿素配施处理均较高,其中75%控氮比处理(CRU3)最高,表明控释尿素能提高籽粒的分配比例,一定比例的普通、控释尿素配施有利于吐丝后茎鞘和叶的干物质向籽粒转移,全控释尿素茎鞘和叶的干物质未能及时向籽粒转移,导致吐丝期后茎鞘和叶片的分配比例相对较高。75%的控释尿素比例(CRU3)既能提高拔节期茎粗和株高,增加茎的分配比例,又能维持吐丝期较高的农艺性状指标,最终增加干物质积累,促进更多干物质向籽粒转移。

控释尿素能协调玉米产量构成因素的相互关系^[13],掺施控释尿素能不同程度地增加千粒重和穗粒数^[23],改善穗部性状(穗粗和穗长),最终增产8.90%~16.84%。与常规施氮处理(CK2)相比,2014年75%控氮比处理(CRU3)穗长和穗粗显著较高,2015年75%控氮比处理(CRU3)穗粗、穗粒数、千粒重和产量显著较高。75%的控释尿素比例(CRU3)前期植株茎秆生长旺盛,提高了茎秆的分配比例,后期维持较高的植株形态,促进了干物质积累并提高了籽粒的分配比例,从而获得高产。

4 结论

普通、控释尿素配施处理有利于玉米植株生长发育,提高全生育期内整株干物质质量。普通、控释尿素配施处理在玉米生育前期能促进茎、叶生长,并向茎鞘分配较多的干物质质量为后期高产奠定基础;在生育后期能保持旺盛生长,并促进吐丝后茎、叶干物质向穗部转移,进而提高籽粒分配比例。普通、控释尿素配施处理均较常规施氮处理提高了穗粗、穗长、千粒重和穗粒数,优化了穗部性状,进而提高了玉米产量。普通尿素掺混不同比例的控释尿素的增产幅度存在一定差异,25%,50%,75%和100%的控释尿素比例处理产量较常规施氮处理分别增产3.70%,8.83%,11.23%和5.43%。在本试验区,以75%控释尿素掺混25%普通尿素处理为最佳的配施比例。

参考文献:

- [1] 董树亭,张吉旺.建立玉米现代产业技术体系,加快玉米生产发展[J].玉米科学,2008,16(4):18-20.
- [2] 卢艳艳,宋付朋,赵杰,等.控释尿素对土壤氮挥发和无机氮含量及玉米氮素利用率的影响[J].水土保持学报,2010,24(6):79-82.
- [3] 闫湘.我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [4] 吕东波,吴景贵,任玲,等.几种缓控尿素的养分释放特

- 性研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 283-287.
- [5] 胡娟, 吴景贵, 孙继梅, 等. 氮肥减量与缓控肥配施对土壤供氮特征及玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 116-120.
- [6] 王宜伦, 苗玉红, 韩燕来, 等. 缓/控释氮肥对夏玉米氮代谢、氮素积累及产量的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 147-150.
- [7] 史和平. 缓释肥料肥效研究[J]. 现代农业科技, 2014(4): 214-216.
- [8] 王小春, 杨文钰, 邓小燕, 等. 玉米/大豆和玉米/甘薯模式下玉米干物质积累与分配差异及氮肥的调控效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 46-57.
- [9] 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.
- [10] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg/hm² 以上夏玉米灌浆期间的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [11] 陈国平, 杨国航, 赵明, 等. 玉米小面积超高产创建及配套栽培技术研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 1-4.
- [12] 刘伟, 张吉旺, 吕鹏, 等. 种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1301-1307.
- [13] 李子双, 谭德水, 王薇, 等. 不同控释肥对夏玉米农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(9): 85-88.
- [14] Ding H, Zhang Y S, Chen J R, et al. Effects of gel-based controlled release fertilizers on agronomic characteristics and physiological indices of corn[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(6): 820-824.
- [15] 赵斌, 董树亭, 张吉旺, 等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1760-1768.
- [16] 尹彩侠, 刘宏伟, 孔丽丽, 等. 控释氮肥对春玉米干物质积累、氮素吸收及产量的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(6): 108-113.
- [17] 朱宝国, 于忠和, 贾会彬, 等. 控释尿素和普通尿素混施对玉米生理特性和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011(7): 42-44.
- [18] Gao X, Li C, Zhang M, et al. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil[J]. Field Crops Research, 2015, 181(9): 60-68.
- [19] Yang Y, Zhang M, Li Y C, et al. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, Activities of leaf enzymes, and rice yield[J]. 2012, 76(6): 2307-2317.
- [20] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 627-633.
- [21] 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[J]. 作物学报, 2012, 38(4): 699-706.
- [22] 李伟, 李絮花, 董静, 等. 冬小麦控释尿素与普通尿素的最佳配比研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 629-635.
- [23] 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1497-1502.
- [24] 衣文平, 史桂芳, 武良, 等. 不同释放期包膜控释尿素与普通尿素配施在夏玉米上的应用效果研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 931-937.
- [25] 钱银飞, 邵彩虹, 邱才飞, 等. 包膜缓释尿素与普通尿素配施对双季超级稻产量及氮肥利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(5): 27-32.
- [26] 祝丽香, 王建华, 高先涛. 控释尿素与普通尿素配施对菊花生理指标及产量和质量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 483-490.
- [27] 宋朝玉, 张继余, 刘洪明, 等. 氮磷钾、秸秆还田和密度对玉米产量及农艺性状的影响[J]. 山东农业科学, 2009, 41(2): 37-40.
- [28] 王寅, 冯国忠, 张天山, 等. 基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1153-1165.
- [29] 王永军, 孙其专, 杨今胜, 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[J]. 作物学报, 2011, 37(12): 2233-2240.
- [30] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙年, 等. 施氮对不同基因型夏玉米干物质累积转移的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 786-792.

(上接第 190 页)

- [18] Chang H L, Chang O H, Sang Y K, et al. Reduction of phosphorus release by liming from temporary flooded rice rotational system in greenhouse upland soil[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(8): 1239-1243.
- [19] Agehara S, Warncke D D. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources[J]. Soilence Society of America Journal, 2005, 69(6): 1844-1855.
- [20] Chen Q H, Feng Y, Zhang Q C, et al. Short-term responses of nitrogen mineralization and microbial community to moisture regimes in greenhouse vegetable soils[J]. Pedosphere, 2012, 22(2): 263-272.
- [21] 徐培智, 解开治, 陈建生, 等. 一季中晚稻的稻菜轮作模式对土壤酶活性及可培养微生物群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 923-928.
- [22] 薛建福, 濮超, 张冉, 等. 农作措施对中国稻田氧化亚氮排放影响的研究进展[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 1-9.