



范立春,孙磊,王丽华,等.聚脲甲醛(MU)缓释氮肥对玉米产量及氮肥利用率的影响[J].黑龙江农业科学,2019(11):39-44.

聚脲甲醛(MU)缓释氮肥对玉米产量及氮肥利用率的影响

范立春^{1,2},孙磊¹,王丽华¹,姬景红¹,高中超¹,刘双全¹,王爽¹

(1.黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;2.黑龙江倍丰恒泰农业发展有限公司,黑龙江 哈尔滨 150028)

摘要:为减少氮肥施用量,明确玉米施用聚脲甲醛缓释肥的最佳施肥配方。本研究以鑫鑫1号为材料,以聚脲甲醛的氮利用率相当于普通尿素的1.3、1.6、1.9倍,设置常规施肥、不施氮肥和几种不同聚脲甲醛施用量处理,研究聚脲甲醛对玉米产量、氮肥利用率及土壤氮素含量的影响。结果表明:MU50、MU70对玉米土壤全氮、碱解氮含量无显著影响。处理2(1.3倍利用率75% MU50+25% PU)、处理3(1.3倍利用率50% MU50+50% PU)的氮肥利用率高于常规施肥,其他各处理氮肥利用率均不同程度低于常规施肥。相同施肥量情况下,施用MU50氮肥利用率高于MU70。减施氮肥较常规施肥降低穗粗、百粒重,增加秃尖长度,产量降低,其中处理2、处理12(1.3倍利用率75% MU70+25% PU)与常规施肥产量差异不显著。相同施肥量情况下,施用MU50产量高于MU70。综上,处理2(1.3倍利用率75% MU50+25% PU)在保证产量不降低的同时,氮肥利用率较高,具有节肥增效的潜力。

关键词:玉米;聚脲甲醛;产量;氮肥利用率

玉米是我国主要粮食作物,2015年我国玉米总产达到2.24亿t,成为中国第一大作物^[1],东北三省玉米产量占全国玉米总产量的29%,对我国粮食产量贡献较大^[2]。目前我国存在过量施氮且氮肥利用率低的现象,2006年以来氮肥施用量居高不下,农户为了获得高产普遍施用大量化肥,甚至施氮量已高达300 kg·hm⁻²^[3-4]。过量施用氮肥导致土壤氮素大量积累^[5],不仅氮肥利用率不高,还会导致温室气体排放增加。优化施肥技术,合理配方施肥,提升肥料效能,是在保护环境的前提下,实现粮食增产的重要途径。

脲甲醛是最早生产、应用面积最大的缓释肥料,释放缓慢,肥料有效期长,能被微生物完全降解,是环境友好型肥料^[6-7]。脲甲醛可显著提高小白菜、玉米等作物的产量和氮肥利用率^[8-9]。聚脲甲醛由尿素和甲醛经过多次加成和缩聚形成^[10],比普通脲甲醛氮缓释效果好、氮肥利用率高。Giroro等^[11]研究发现,施用聚脲甲醛的土壤有效铵态氮含量显著低于普通脲甲醛,可显著降低土壤

氮流失。目前在国外已有较多关于聚脲甲醛的缓释氮肥生产专利^[12],但在国内关于聚脲甲醛在玉米上的应用效果研究尚为缺失。本试验研究不同配方聚脲甲醛缓释氮肥对玉米产量及肥料利用率的影响,以期明确聚脲甲醛的最佳施肥配方,为聚脲甲醛的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018年在哈尔滨市双城市新兴镇进行。试验区域属中温带,年均气温3.5℃,年降雨量533 mm,无霜期约135 d。试验土为黑土,耕层20 cm,试验地土壤有机质37.1 g·kg⁻¹,全氮0.207%,全磷0.07%,全钾2.52%,碱解氮173.31 mg·kg⁻¹,有效磷56.7 mg·kg⁻¹,速效钾225 mg·kg⁻¹,pH 6.08。

1.2 材料

供试玉米品种为鑫鑫1号。

试验所用肥料有聚脲甲醛(MU)缓释氮肥:MU50(40-0-0)、MU70(39-0-0)、尿素(46-0-0)、重过磷酸钙(0-46-0)、硫酸钾(0-0-50)、钙镁颗粒填充料。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 按MU氮的利用率相当于尿素利用率的1.3、1.6、1.9倍设计试验。其中1.3

收稿日期:2019-06-13

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0201803);黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(GA17B001)。

第一作者简介:范立春(1978-),男,硕士,农艺师,从事新型肥料研究。E-mail:bfhtf@163.com。

通讯作者:孙磊(1981-),男,硕士,副研究员,从事土壤肥料研究。E-mail:tufeisuosunlei@163.com。

倍是 MU 免追肥配方和施尿素需要追肥的综合成本相等的倍数;1.6 倍是 MU 免追肥配方和施尿素配方,原材料施肥成本相等的倍数;1.9 倍是 MU 氮的成本刚好是尿素氮的成本的实际倍数(按现在尿素的售价,每个尿素氮约 31.6 元,每个 MU 氮约 59 元)。

试验采用随机区组设计,小区面积 42 m²,垄长 10 m,垄宽 0.7 m,每小区 6 垄,3 次重复。重复间设 1 米区间道,试验两侧各设 4 垄保护行,试验前后各设 5 m 保护行。4 月 26 日施基肥并播

种,9 月 30 日收获。所用氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为重过磷酸钙(含 P₂O₅ 48%),钾肥为硫酸钾(含 K₂O 54%)。常规施肥处理氮肥按基肥 50%,追肥 50%施用,磷、钾作基肥一次性施用。其他处理聚脲甲醛(MU)缓释氮肥和其他氮肥、磷肥、钾肥作基肥一次性施入,不再追肥。试验分两部分进行,用 MU50 代替部分尿素,和用 MU70 代替部分尿素。共设 20 个处理,每处理 3 次重复,常规施肥作为对照,各处理施肥方式见表 1 和表 2。

表 1 不同处理施肥量(用 MU50 代替部分尿素)

| Table 1 Fertilizer application amount of different treatments(replacing partial urea with MU50) | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|---|---------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| (g·hm ⁻²) | | | | | | | |
| 编号 No. | 处理方式 Treatments | MU50 | 重过磷酸钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O | 硫酸钾 K ₂ SO ₄ | 尿素 PU | | 钙镁颗粒 Ca+Mg |
| | | | | | 基肥 | 追肥 | |
| | | | | | Base fertilizer | Top dressing | |
| 1 | 1.3 倍利用率全量 MU50 | 1454 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 2 | 1.3 倍利用率 75% MU50+25% PU | 1092 | 685 | 462 | 315 | 0 | 303 |
| 3 | 1.3 倍利用率 50% MU50+50% PU | 727 | 685 | 462 | 632 | 0 | 303 |
| 4 | 1.6 倍利用率全量 MU50 | 1176 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 5 | 1.6 倍利用率 75% MU50+25% PU | 882 | 685 | 462 | 256 | 0 | 303 |
| 6 | 1.6 倍利用率 50% MU50+50% PU | 588 | 685 | 462 | 511 | 0 | 303 |
| 7 | 1.9 倍利用率全量 MU50 | 987 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 8 | 1.9 倍利用率 75% MU50+25% PU | 748 | 685 | 462 | 208 | 0 | 303 |
| 9 | 1.9 倍利用率 50% MU50+50% PU | 496 | 685 | 462 | 427 | 0 | 303 |
| 10 | 常规施肥 | 0 | 685 | 462 | 819 | 819 | 303 |
| 20 | 不施氮肥 | 0 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |

表 2 不同处理施肥量(用 MU70 代替部分尿素)

| Table 2 Fertilizer application amount of different treatments (replacing partial urea with MU70) | | | | | | | |
|--|--------------------------|------|---|---------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| (g·hm ⁻²) | | | | | | | |
| 编号 No. | 处理方式 Treatments | MU70 | 重过磷酸钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O | 硫酸钾 K ₂ SO ₄ | 尿素 PU | | 钙镁颗粒 Ca+Mg |
| | | | | | 基肥 | 追肥 | |
| | | | | | Base fertilizer | Top dressing | |
| 10 | 常规施肥 | 0 | 685 | 462 | 819 | 819 | 303 |
| 11 | 1.3 倍利用率全量 MU70 | 1491 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 12 | 1.3 倍利用率 75% MU70+25% PU | 1120 | 685 | 462 | 315 | 0 | 303 |
| 13 | 1.3 倍利用率 50% MU70+50% PU | 746 | 685 | 462 | 632 | 0 | 303 |
| 14 | 1.6 倍利用率全量 MU70 | 1206 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 15 | 1.6 倍利用率 75% MU70+25% PU | 905 | 685 | 462 | 256 | 0 | 303 |
| 16 | 1.6 倍利用率 50% MU70+50% PU | 603 | 685 | 462 | 511 | 0 | 303 |
| 17 | 1.9 倍利用率全量 MU70 | 1012 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |
| 18 | 1.9 倍利用率 75% MU70+25% PU | 767 | 685 | 462 | 208 | 0 | 303 |
| 19 | 1.9 倍利用率 50% MU70+50% PU | 509 | 685 | 462 | 427 | 0 | 303 |
| 20 | 不施氮肥 | 0 | 685 | 462 | 0 | 0 | 303 |

1.3.2 测定项目及方法 土壤氮素含量:玉米收获后,每小区按5点取样法取土样,风干后测定土壤全氮和碱解氮含量。用半微量凯氏法测定土壤全氮,用碱解扩散法测定土壤碱解氮。

氮肥利用率:将测产后的玉米秸秆和籽粒于80℃烘至恒干,将烘干后的样品经粉碎机磨成粉末。硫酸-双氧水消煮,凯氏定氮法测定植株全氮。

氮肥利用率(%)=(施肥处理植株累计吸氮量-不施氮肥处理植株累积吸氮量)/肥料氮施用量×100。

产量:收获时,在各试验小区内随机选取3个4m²的区域,人工收获脱粒后,烘干、称重,进行考种并计算产量。

1.3.3 数据分析 试验数据采用SPSS 17.0与Excel 2010软件进行统计分析与作图,通过LSD多重比较法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 MU50 和 MU70 对玉米土壤氮素含量的影响

由表3可知,各处理收获后土壤全氮、碱解氮含量均低于种植前,各处理间差异不大。常规施肥处理10全氮下降最多,比种植前低14.01%,其他处理全氮均有不同程度的降低。各处理碱解氮比种植前降低23.66%~32.14%。

表4 MU50 和 MU70 对玉米氮肥利用率的影响

Table 4 The effects of MU50 and MU70 on nitrogen use efficiency of maize

| 处理 Treatments | 秸秆吸氮量 Nitrogen uptake by straw/(g·hm ⁻²) | 籽粒吸氮量 Nitrogen uptake by grains/(g·hm ⁻²) | 氮肥施用量 Nitrogenous fertilization/(g·hm ⁻²) | 氮肥利用率 Nitrogen use efficiency/% | 比常规施肥增加/百分点 Higher than conventional fertilization/percentage point |
|------------------|--|---|---|---------------------------------------|---|
| 20 | 2.27 | 5.59 | 0 | - | - |
| 10 | 3.14 | 8.64 | 12.00 | 32.69 | - |
| 1 | 3.22 | 7.43 | 9.26 | 30.15 | -2.54 |
| 2 | 2.39 | 8.54 | 9.26 | 33.23 | 0.54 |
| 3 | 2.81 | 8.18 | 9.26 | 33.74 | 1.05 |
| 11 | 2.62 | 6.66 | 9.26 | 15.37 | -17.32 |
| 12 | 2.91 | 7.61 | 9.26 | 28.79 | -3.90 |
| 13 | 2.71 | 7.57 | 9.26 | 26.19 | -6.50 |

2.3 MU50 和 MU70 对玉米产量的影响

2.3.1 MU50 对玉米产量及产量性状的影响

由表5可知,各减施氮肥处理的秃尖长度均高于常规施肥(处理10),其中处理2秃尖长最短,比常规施肥仅高6.29%。除处理2外,各减施氮肥处理的穗粗均低于常规施肥。除处理4外,其他减氮处理百粒重均高于常规施肥,处理2百粒重最高,比常规施肥高7.65%。说明减施氮肥对玉

表3 MU50 和 MU70 对玉米土壤氮素含量的影响

Table 3 The effect of MU50 and MU70 on nitrogen content in maize soil

| 处理 Treatments | 全氮 Total nitrogen/% | 碱解氮 Hydrolyzable nitrogen/(mg·kg ⁻¹) |
|---------------------|---------------------------|--|
| 种植前 Before planting | 0.207 | 173.3 |
| 1 | 0.193 | 132.3 |
| 2 | 0.188 | 131.6 |
| 3 | 0.181 | 117.6 |
| 10 | 0.178 | 125.0 |
| 11 | 0.192 | 117.6 |
| 12 | 0.195 | 132.3 |
| 13 | 0.189 | 118.3 |
| 20 | 0.181 | 124.2 |

2.2 MU50 和 MU70 对玉米氮肥利用率的影响

由表4可知,不同施肥处理对玉米氮肥利用率有影响,其中处理3和处理2氮肥利用率分别比常规施肥处理10高1.05个百分点和0.54百分点,其他处理氮肥利用率均低于常规施肥,处理11的氮肥利用率最低,比常规施肥低17.32百分点。几种处理间氮肥利用率表现为,处理3>处理2>处理10>处理1>处理12>处理13>处理11。

表4 MU50 和 MU70 对玉米氮肥利用率的影响

Table 4 The effects of MU50 and MU70 on nitrogen use efficiency of maize

| 处理 Treatments | 秸秆吸氮量 Nitrogen uptake by straw/(g·hm ⁻²) | 籽粒吸氮量 Nitrogen uptake by grains/(g·hm ⁻²) | 氮肥施用量 Nitrogenous fertilization/(g·hm ⁻²) | 氮肥利用率 Nitrogen use efficiency/% | 比常规施肥增加/百分点 Higher than conventional fertilization/percentage point |
|------------------|--|---|---|---------------------------------------|---|
| 20 | 2.27 | 5.59 | 0 | - | - |
| 10 | 3.14 | 8.64 | 12.00 | 32.69 | - |
| 1 | 3.22 | 7.43 | 9.26 | 30.15 | -2.54 |
| 2 | 2.39 | 8.54 | 9.26 | 33.23 | 0.54 |
| 3 | 2.81 | 8.18 | 9.26 | 33.74 | 1.05 |
| 11 | 2.62 | 6.66 | 9.26 | 15.37 | -17.32 |
| 12 | 2.91 | 7.61 | 9.26 | 28.79 | -3.90 |
| 13 | 2.71 | 7.57 | 9.26 | 26.19 | -6.50 |

米产量性状造成了影响,降低穗粗,增加秃尖长度。综合来看,1.3倍利用率75%MU50+25%PU(处理2)效果好于其他施肥处理。

各减施氮肥处理的产量均低于常规施肥,但处理1、2、5、6、9与常规施肥的产量差异不显著。其中处理8减产最多,减产幅度10.49%,处理2减产幅度最小,仅减产1.40%。各减施氮肥处理间表现出随施氮量减少产量也减少的趋势,不施

氮肥处理(处理 20)减产 24.48%。各处理产量综合表现为,处理 10>处理 2>处理 6>处理 1>处理 5>处理 9>处理 3>处理 7>处理 4>处理 8>处理 20。

表 5 MU50 对玉米产量及产量性状的影响

Table 5 The effects of MU50 on yield and its characters of maize

| 处理 Treatments | 百粒重 100-grain weight/g | 穗粗 Ear width/cm | 秃尖长 Bald tip length/cm | 产量 Yield/ (kg·667 m ⁻²) | 比常规施肥增产 Higher than conventional fertilization/(kg·667 m ⁻²) | 增产率 Yield increase rate/% |
|------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---|--|---------------------------------|
| 1 | 44.06 | 5.23 | 1.93 | 683 abA | −32 | −4.47 |
| 2 | 45.18 | 5.32 | 1.69 | 705 aA | −10 | −1.40 |
| 3 | 43.60 | 5.10 | 1.77 | 654 bA | −61 | −8.53 |
| 4 | 41.43 | 5.16 | 2.05 | 646 bA | −69 | −9.65 |
| 5 | 43.97 | 5.13 | 2.01 | 674 aA | −41 | −5.73 |
| 6 | 44.72 | 5.26 | 1.70 | 693 aA | −22 | −3.08 |
| 7 | 42.51 | 5.19 | 2.87 | 647 bA | −68 | −9.51 |
| 8 | 42.41 | 5.24 | 1.95 | 640 bA | −75 | −10.49 |
| 9 | 42.33 | 5.19 | 1.89 | 673 abA | −42 | −5.87 |
| 10 | 41.97 | 5.29 | 1.59 | 715 aA | - | - |
| 20 | 39.84 | 5.07 | 1.94 | 540 cB | −175 | −24.48 |

注:不同大小写字母分别表示差异达 1%和 5%水平,下同。
Note:Different capital and lowercase letters indicate significant differences at 0.01 and 0.05 respectively,the same below.

2.3.2 MU70 对玉米产量及产量性状的影响
由表 6 可知,各减施氮肥处理的秃尖长度均高于常规施肥(处理 10),增幅为 5.03%~28.93%,处理 18 秃尖最长,处理 15 秃尖长最小。除处理 13 穗粗比常规施肥高 2.46%外,其他减施氮肥处理

的穗粗均低于常规施肥,处理 11、18、19 穗粗最小,为 5.15 cm。处理 18 和 19 百粒重低于常规施肥处理,其他减施氮肥处理的百粒重比常规施肥高 0.09%~10.55%。说明减施氮肥对玉米产量性状造成了影响。

表 6 MU70 对玉米产量及产量性状的影响

Table 6 The effects of MU70 on yield and its characters of maize

| 处理 Treatments | 百粒重 100-grain weight/g | 穗粗 Ear width/cm | 秃尖长 Bald tip length/cm | 产量 Yield/ (kg·667 m ⁻²) | 比常规施肥增产 Higher than conventional fertilization/(kg·667 m ⁻²) | 增产率 Yield increase rate/% |
|------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---|--|---------------------------------|
| 11 | 42.65 | 5.15 | 1.92 | 615 bA | −100 | −13.99 |
| 12 | 45.16 | 5.18 | 1.93 | 659 abA | −56 | −7.83 |
| 13 | 44.50 | 5.42 | 1.67 | 639 bA | −76 | −10.63 |
| 14 | 46.40 | 5.17 | 1.73 | 644 bA | −71 | −9.93 |
| 15 | 44.58 | 5.22 | 1.68 | 649 bA | −66 | −9.23 |
| 16 | 42.95 | 5.28 | 1.74 | 666 abA | −49 | −6.85 |
| 17 | 42.01 | 5.16 | 1.93 | 648 bA | −67 | −9.37 |
| 18 | 41.57 | 5.15 | 2.05 | 639 bA | −76 | −10.63 |
| 19 | 41.45 | 5.15 | 1.92 | 659 abA | −56 | −7.83 |
| 10 | 41.97 | 5.29 | 1.59 | 715 aA | - | - |
| 20 | 39.84 | 5.07 | 1.94 | 540 cB | −175 | −24.48 |

各减施氮肥处理的产量均低于常规施肥,其中处理 11 减产最多,减产幅度 13.99%,处理 16 减产幅度最小,减产 6.85%。各减施氮肥处理间的产量差异不显著,且未表现出随施氮量减少产量也减少的趋势,这可能与土壤肥力较高以及采样误差有关。产量从高到低的顺序为处理 10>处理 16>处理 12=处理 19>处理 15>处理 17>

处理 14>处理 13=处理 18>处理 11>处理 20。

3 结论与讨论

前人研究表明缓释氮肥减氮施肥方式会对土壤氮含量产生影响,鲁艳红等^[13]研究发现,控释尿素减氮 30%可能会导致土壤氮含量降低。许仙菊等^[14]研究也表明缓释氮肥连续减氮 24.3%的施肥方式可能会削减土壤氮储量,可持续性

还有待检验。本试验研究结果表明,施用聚脲甲醛肥料的土壤全氮含量均较常规分次施肥处理有所增加,土壤碱解氮含量与常规分次施肥处理没有显著差异,在等氮条件下,施用 MU50 和 MU70 土壤全氮含量和碱解氮含量与常规施肥没有显著差异。黄巧义等^[15]研究也表明,施用聚脲甲醛处理土壤全氮含量较常规施肥有所提高。本试验地土壤有机质含量较高,对土壤全氮和碱解氮的缓冲性能大,这可能是施用聚脲甲醛后土壤全氮量没有显著差异的原因。

本试验以聚脲甲醛为缓释氮肥,探讨其在玉米上的应用效果。结果表明,减施氮肥较常规施肥降低穗粗、百粒重,增加秃尖长度,各减施聚脲甲醛的玉米产量均低于常规施肥,其中处理 2、12 与常规施肥产量差异不显著。这与前人研究结果一致,赵蒙等^[16]研究指出,MU 配施尿素的处理产量低于常规施肥处理的产量,而只施用 MU 处理的产量低于 MU 配施尿素处理及尿素处理。研究发现,控释尿素减氮 15%~50% 条件下,仍能达到常规尿素分次施肥的水稻产量水平,且能有效降低氮素流失风险^[17-18]。在本研究中,相同施肥量情况下,施用 MU50 处理的产量高于 MU70 处理,且施用 MU50 氮肥利用率高于 MU70。可能是由于 MU70 养分释放周期长,在玉米收获后土壤中残余部分 MU70 肥料颗粒,土壤微生物对 MU 缓释氮肥分解弱,导致植物养分吸收少,收获时产量低,MU70 肥料颗粒中未释放完的养分导致肥料利用率低。而分解 MU 缓释肥的相关微生物种群的积累需要一定时间^[19],所以还需对 MU 肥料在土壤中的长期作用效果进行监测。

参考文献:

[1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11): 1941-1959.

[2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社,2008-2010.

[3] 赵兰坡,张志丹,王鸿斌,等. 松辽平原玉米带黑土肥力演化特点及培育技术[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(4): 511-516.

[4] 纪玉刚,孙静文,周卫,等. 东北黑土玉米单作体系氮挥发特

征研究[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1044-1050.

[5] 王艳群,李迎春,彭正萍,等. 氮素配施双氰胺对冬小麦-夏玉米轮作系统 N₂O 排放的影响及效益分析[J]. 应用生态学报,2015,26(7): 1999-2006.

[6] 黄丽娜,魏守兴. 脲甲醛肥料合成及应用研究现状. 农学报,2015,5(7): 76-80.

[7] Yamamoto C F, Pereira E I, Mattoso L H C, et al. Slow release fertilizers based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 287: 390-397.

[8] 周丽平,杨俐苹,白由路,等. 不同氮肥缓释化处理对夏玉米田间氮挥发和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016,22(6): 1449-1457.

[9] 倪露,白由路,杨俐苹,等. 不同组分脲甲醛缓释肥的夏玉米肥料效应研究[J]. 中国农业科学, 2016, 49(17): 3370-3379.

[10] 王勇,万涛. 环保型长效化肥聚脲甲醛的合成研究[J]. 土壤通报,2001,32(2): 73-74.

[11] Giroto A S, Guimaraes G G F, Ribeiro. A Novel, Simple route to produce urea: urea-formaldehyde composites for controlled release of fertilizers[J]. Journal of Polymers and the Environment,2017,6: 1-11.

[12] Cahill S, Osmond D, Crozier C, et al. Winter Wheat and maize response to urea ammonium nitrate and a new urea formaldehyde polymer fertilizer[J]. Agronomy Journal, 2007,99(6):1645.

[13] 鲁艳红,聂军,廖育林,等. 不同控释氮肥减量施用对双季水稻产量和氮素利用的影响[J]. 水土保持学报,2016, 30(2):155-161.

[14] 许仙菊,马洪波,宁运旺,等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2): 307-316.

[15] 黄巧义,张木,黄旭,等. 聚脲甲醛缓释氮肥一次性基施在双季稻上的应用效果[J]. 中国农业科学,2018,51(20): 3996-4006.

[16] 赵蒙,曾科,姚元林,等. 聚脲甲醛肥料对太湖稻麦轮作体系氮挥发及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019, 25(1): 55-63.

[17] 徐明岗,李菊梅,李冬初,等. 控释氮肥对双季水稻生长及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009, 15(5):1010-1015.

[18] 李旭,谢桂先,刘强,等. 控释尿素减量施用对稻田氮素径流和渗漏损失的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(5): 70-74.

[19] Szymczak E, Lemaire F. Effect of 4 ternary fertilizers containing slow-release nitrogen and timing of application on Lolium perenne L. turf[IBDU(isobutylidene diurea), urea formaldehyde, organic matter][J]. Renaissance Quarterly, 2006,59(March):304-305.

Effects of Slow-release Poly Urea Formaldehyde(MU)
Fertilizer on Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency

FAN Li-chun^{1,2}, SUN Lei¹, WANG Li-hua¹, JI Jing-hong¹, GAO Zhong-chao¹, LIU Shuang-quan¹,
WANG Shuang¹

(1. Soil Fertilizer and Environment Resource Institute of Heilongjiang Agricultural Academy of Sciences,
Harbin 150086, China; 2. Heilongjiang Beifeng Hengtai Agricultural Development Limited Company, Harbin
150028, China)