

文章编号:1000-8551(2012)06-0930-06

不同灌溉量下微水溶性缓释肥料在春玉米的肥效及环境效应研究

肖强¹ 徐秋明¹ 衣文平¹ 杨俊刚¹ 倪小会¹ 孙红帅^{1,2} 曹兵¹

(1.北京市农林科学院植物营养与资源研究所,北京 100097; 2.山西师范大学城市与环境科学学院,山西 临汾 041000)

摘要:应用田间试验研究了适用于半干旱气候条件下的微水溶性缓释肥料(简称W,下同)在不同灌溉量下对春玉米生长的影响及环境效应。试验中设置了空白不施肥处理(CK)、常规灌溉尿素处理(N)、常规灌溉微水溶性缓释肥处理(W₁)和减量灌溉微水溶性缓释肥处理(W₂)。试验结果表明:与CK处理相比,W₁处理显著提高了春玉米植株株高,W₂处理显著提高了春玉米植株与籽粒全N、K含量及产量,但叶绿素、株高未显著提高,N处理仅显著提高了籽粒全N含量($p < 0.05$)。与N处理相比,W₁处理显著提高了春玉米植株株高、肥料磷钾利用率与产量($p < 0.05$),土壤硝态氮残留峰值出现于80cm土层,淋失量显著减少($p < 0.05$);W₂处理显著提高了春玉米植株与籽粒全N含量、肥料氮磷钾利用率与产量($p < 0.05$),土壤硝态氮残留峰值出现于60cm土层,淋失量显著减少($p < 0.05$)。由此说明,微水溶性缓释肥料具有一定的增产效果和节水功效,硝酸盐淋失量显著降低。

关键词:微水溶性缓释肥料;半干旱气候;减量灌溉;春玉米;节水

STUDY OF SLIGHTLY-WATER-SOLUBLE SLOW-RELEASE FERTILIZER ON SPRING CORN AND ENVIRONMENT EFFECT UNDER THE CONDITION OF DIFFERENT IRRIGATION AMOUNT

XIAO Qiang¹ XU Qiu-ming¹ YI Wen-ping¹ YANG Jun-gang¹ NI Xiao-hui SUN Hong-shuai^{1,2} CAO Bing¹

(Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097;

2. College of City and Environmental Sciences, Shanxi Normal University, Lingfen, Shanxi 041000)

Abstract: A field experiment was conducted to study the fertilizer and its environment effect on spring corn under the condition of different irrigation amount with a kind of slightly-water-soluble slow-release fertilizer which is suitable for semi-arid climate conditions (Beijing Academy of agriculture and forestry sciences development, called W, similarly hereinafter) with four different treatments of conventional irrigation without fertilization treatment (CK), the conventional irrigation urea treatment (N), the conventional irrigation with slightly-water-soluble slow-release fertilizer treatment (W₁), reducing irrigation amount with slightly-water-soluble slow-release fertilizer treatment (W₂). Results showed that, compared with CK treatment, W₁ treatment significantly increased plant height, then W₂ treatment significantly increased the total N content of plant and grain and yield of spring corn, but chlorophyll, plant height was not significantly improved, and N treatment significantly increased the grain total N content only ($p < 0.05$). Compared with N, W₁ treatment significantly increased the plant height, fertilizer P and K efficiency and yield of spring corn ($p < 0.05$), and the highest value of NO₃-N content appeared in 80cm-depth soil, and leaching amount significantly reduced ($p < 0.05$), and W₂ treatment significantly increased the total N content of plant and grain, fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium use efficiency and yield, and the highest value of NO₃-N content appeared in 60cm-depth soil,

收稿日期:2012-03-24 接受日期:2012-07-24

基金项目:北京市科技新星计划B类项目(2008B38,2010B028),北京市缓释肥料工程技术研究中心2011年阶梯计划项目(Z111105055311092),北京市农林科学院科技创新能力建设专项(控释肥料在蔬菜上应用的水肥耦合效应研究)、“十二五”农村领域国家科技计划课题子课题(2011BAD11B02,2011BAD11B01-05),北京市农林科学院青年科研基金

作者简介:肖强(1978-),男,辽宁辽阳人,博士,副研究员,主要从事新型肥料与环境治理研究。E-mail:xqiang1978@163.com

通讯作者:曹兵(1970-),男,湖北公安人,博士,副研究员,主要从事新型肥料与环境治理研究。E-mail:caobing@baafs.net.cn

and leaching amount significantly reduced ($p < 0.05$). Therefore, the slightly-water-soluble slow-release fertilizer could improve yield, save water irrigation and reduce $\text{NO}_3\text{-N}$ content leaching.

Key words: slightly-water-soluble slow-release fertilizer; semi-arid climate conditions; reduction of irrigation; spring corn; water saving irrigation

虽然现有常规化学肥料在农业生产中对粮食增产作用不可否认,但是普通化学肥料在追求作物高产中带来的环境风险问题也为世界各国所重视^[1]。有关统计资料表明,目前国外氮肥当季利用率为 50% ~ 55%,而我国氮肥利用率一般只有 35% 左右^[2],氮肥利用率低已严重影响了世界农业和环境的可持续发展。为提高氮肥利用率,前人在减少施氮量、优化施肥技术^[3]以及玉米品种的氮肥效率基因型差异^[4]等方面做了大量研究,同时从氮肥类型角度(长效碳铵、缓控释尿素等)对玉米氮肥利用与转运也进行了探讨^[5-7]。结果认为,缓控释肥料的开发与应用是提高氮肥利用率行之有效的途径之一^[5]。

但是,缓控释肥料自开发与应用以来,由于其主要品种——包膜肥料养分释放受温度与水分因素的双重影响,应用于缺水的干旱半干旱地区较难起到节水节肥的双重预想效果^[8]。而我国有 220 多万 hm^2 的干旱半干旱地区^[9],因此,开发与应用一种能够适用于该地区水土气候条件下的缓控释肥料成为必然趋势。鉴于此,本文以一种适用于半干旱气候条件下的微水溶性缓释肥料^[10,11]为试材,研究其在干旱半干旱地区春玉米上的应用效果,从而为大面积的推广应用适用于干旱半干旱地区的缓控释肥料,提高当地水肥利用率,实现增产增收提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

田间试验于 2011 年在春玉米上进行,玉米品种为当地常用的郑单 958。

试验田位于北京市延庆县小丰营村,供试土壤属中壤土,褐土土类, pH7.58, 有机质 $5.4\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $0.81\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 铵态氮 $3.93\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $8.49\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。所用肥为微水溶性缓释肥料^[8,10,11],由北京市农林科学院研制,含全氮 20.25%、全钾 18.75%。其主要制作工艺为将肥料与微水溶性缓释材料相结合:肥料原料为尿素(含 N,46%),磷肥、钾肥分别为过磷酸钙(含 P_2O_5 ,12%)和硫酸钾(含 K_2O ,30%)。试验设置 4 个处理,即,CK:不施肥处理;N:常规灌溉尿素处理;W₁:常规灌溉微水溶性缓释肥处理;W₂:减量

灌溉微水溶性缓释肥处理。每处理 3 次重复,施氮量 $180\text{kgN}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮磷钾配比 5:2:3。

试验设置 12 个试验小区,小区面积为 20m^2 ,2 个相邻小区间设宽 0.5m 的隔离带,各处理及重复均为随机排列。5 月 2 号翻耕土地,除尿素外的其他肥料全部作为基肥一次施入,尿素分 2 次施入(基肥与追肥各占 50%),大喇叭口期进行一次追肥。5 月 3 日播种,6 月 2 日定植,整个生长期记录降雨量,测定土壤含水量(3d 测量 1 次),6 月 3 日第 1 次浇水(80mm),8 月 5 日第 2 次浇水(80mm),减量灌溉灌水量均为常规灌溉灌水量 80%,其他田间管理措施与当地农田管理相同。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 植株株高及叶绿素值 分别于玉米生长的拔节期、小喇叭口期、大喇叭口期、抽雄期每小区对角线取样测定,叶绿素使用 SPAD502 叶绿素仪测定植株完全展开的第 2 叶片(整片叶随机测定 5 个点,取平均值);玉米收获后以 20cm 为一层取 0~100cm 土层土壤测定硝态氮。

1.2.2 植株及籽粒全氮、磷、钾测定 磨碎样品用浓 H_2SO_4 和 H_2O_2 消煮,全氮用开氏定氮蒸馏法,磷用钒钼黄比色法,钾用火焰光度计法。土壤硝态氮采用 AA3 型连续流动分析仪测定。

氮肥利用率(%) = (施氮处理作物吸氮量 - 不施氮处理作物吸氮量) / 施氮量 × 100。

磷肥利用率(%) = (施氮处理作物吸磷量 - 不施氮处理作物吸磷量) / 施磷量 × 100。

钾肥利用率(%) = (施氮处理作物吸钾量 - 不施氮处理作物吸钾量) / 施钾量 × 100。

1.3 数据处理

本试验所有数据均在 Microsoft excel 2000 和 SAS8.0 中进行相关计算处理和数据统计分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对植株株高的影响

植株株高是作物对生长期的营养供应及吸收状况最直接的表征。图 1 为大田试验中 4 个时期取样测量

所得玉米植株株高对比图,从图 1 可以看出,在玉米营养生长期,微水溶性缓释肥处理的植株株高要优于尿素及空白处理。拔节期数据显示,处理 W_1 比 N 和 CK 都高出约 0.1m,差异显著 ($P < 0.05$),比 W_2 高出 0.01m,其余各处理间差异不显著;小喇叭口期数据显示,与其他处理相比, W_1 较 N 高出 0.25m,较 CK 高出 0.16m,较 W_2 高出 0.07m,除 W_1 与 N 处理差异显著 ($P < 0.05$) 外,其余处理间差异均不显著;大喇叭口期数据显示, W_1 比 N 高出 0.28m,比 CK 高出 0.24m,比 W_2 高出 0.06m, W_2 与 N 处理, W_1 与 N、CK 处理间差异均达显著水平 ($P < 0.05$),其余处理间差异不显著;抽雄期数据显示, W_1 比 N 高出 0.25m,比 CK 高出 0.2m,比 W_2 高出 0.1m,但各个处理间差异均不显著。

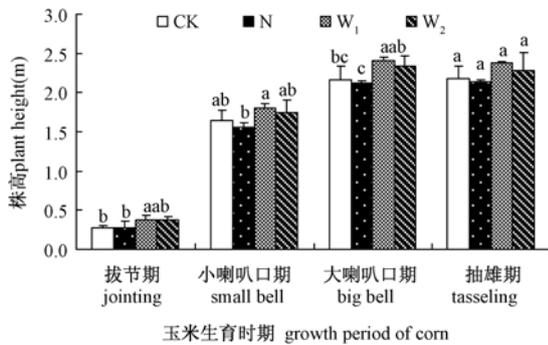


图 1 不同生育时期、不同施肥处理玉米植株株高
Fig. 1 Plant height of different treatments during different stages

2.2 不同施肥处理对植株叶绿素含量的影响

叶绿素是作物进行光合作用的重要因素,作物进行光合作用的强弱直接决定于植物叶绿素含量的高低。本试验结果表明,微水溶性缓释肥料能在一定程度提高植物叶绿素的含量。从图 2 大田试验 4 次取样测量所得玉米植株叶绿素对比中可以看出:拔节期各处理下叶绿素含量为 $W_2 > W_1 > N > CK$;小喇叭口期为 $W_2 > W_1 > N > CK$, W_2 与 CK 处理差异显著 ($P < 0.05$),其余处理间差异均不显著;大喇叭口期叶绿素含量为 $W_1 > W_2 > N > CK$,4 个处理间差异均不显著;抽雄期叶绿素含量为 $W_2 > W_1 > N > CK$, W_2 、 W_1 与 N、CK 处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$),其余处理间差异不显著。

2.3 不同施肥处理对植株全 N、P、K 的影响

植株全 N、P、K 的含量,是肥料肥效、土壤肥力和植物吸收效果最直接的表现,也是影响作物生长和产量的重要因素。图 3 所示为收获期玉米不同处理植株中全 N、P、K 含量的对比,从图中可以看出 4 个处理下植株全 N 含量对比关系为: $W_2 > W_1 > N > CK$,其中

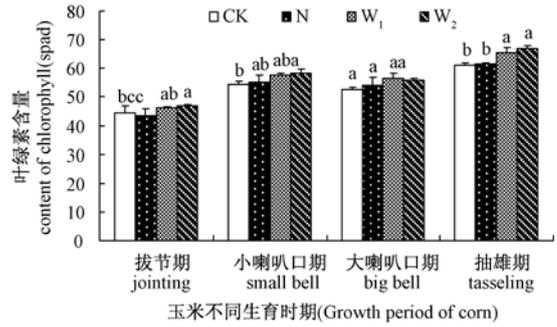


图 2 不同时期、不同处理植株叶绿素含量
Fig. 2 The content of chlorophyll by different treatments during different stages

W_2 比 N 高出 0.1 百分点,比 W_1 高出 0.03 百分点, W_2 与 CK 处理间差异显著 ($P < 0.05$),其余处理间差异均不显著;植株全 P 含量各个处理间差异均不显著, W_2 处理最高,比 W_1 高出 0.01 百分点;植株全 K 含量对比关系为: $W_2 > W_1 > N > CK$,其中 W_2 比 N 高出 0.15 百分点,比 W_1 高出 0.06 百分点, W_2 与 N、CK 处理间差异显著 ($P < 0.05$),其余处理间差异均不显著。

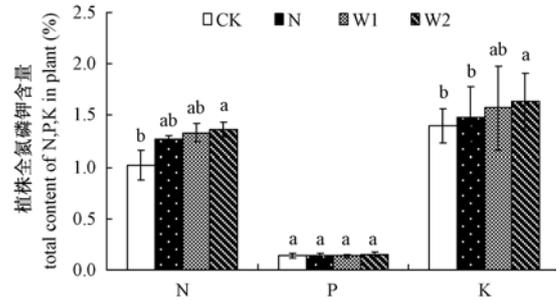


图 3 不同施肥处理植株全 N、P、K 含量
Fig. 3 Total content of N, P, K in plant under different treatments

2.4 不同施肥处理对玉米籽粒全 N、P、K 含量的影响

玉米籽粒中全 N、P、K 含量的高低可以直接说明作物植株生长及产量状况。图 4 所示为收获后各处理下玉米籽粒中全 N、P、K 含量的对比,从图 4 可以看出,籽粒全 N 含量对比关系为: $W_2 > W_1 > N > CK$ 。数据分析显示, W_2 比 N 高出 0.1 个百分点,比 W_1 高出 0.033 个百分点, W_2 与 W_1 、 W_1 与 N 处理间差异不显著,其余处理间均差异显著 ($P < 0.05$);籽粒全 P 含量对比关系为: $W_1 > N > W_2 > CK$,其中 W_1 比 N 高出 0.014 个百分点,比 W_2 高出 0.015 个百分点, W_1 与 N 差异不显著, W_2 与 N 差异显著;籽粒全 K 含量对比关系为: $W_2 > W_1 > N > CK$,其中 W_2 比 N 高出 0.05 百分

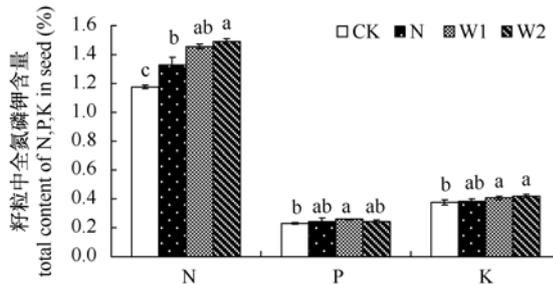


图4 不同施肥处理下籽粒全N、P、K含量
Fig.4 Total content of N、P、K in crop seed under different treatments

表1 各施肥处理下春玉米产量及产量构成

Table 1 Yield and its components of spring corn under different treatments

处理 treatment	有效穗数 number of effective ears (No.)	穗粒数 grain number per ear (No.)	千粒重 1000-grain weight(g)	产量 theoretical yield(kg·hm ⁻²)
CK	10 a	616 b	176 b	6176 c
N	10 a	741 b	185 b	7710 c
W ₁	10 a	764 ab	187 a	8505 b
W ₂	11 a	802 a	184 ab	8986 a

注:同列数据不同字母表示差异达0.05显著水平,下表同。

Note: different letters in the same column mean significant at the 0.05 level, the same as follows table.

穗, W₂与N、CK处理差异均达到显著水平,其余处理间差异不显著;千粒重对比关系为:W₁>N>W₂>CK, W₁比N高出2g,比W₂高出3g, W₁与N、CK处理差异均达到显著水平,其余处理间差异不显著。

2.6 不同施肥处理对氮、磷、钾肥利用率的影响

与N处理比较,微水溶性缓释肥能够明显提高氮、磷、钾肥的利用率。从表2可以看出,氮、磷、钾肥利用率对比关系均为:W₂>W₁>N,在氮肥利用率方面W₂比W₁高出6.5个百分点,比N高出20.7个百分点,且与N处理的差异达显著水平;在磷肥利用率方面,W₂比W₁高出4.8个百分点,比N高出15.7个百分点,W₂、W₁与N处理的差异达显著水平;在钾肥利用率方面,W₂比W₁高出13.2个百分点,比N高出35.8个百分点,W₂、W₁与N处理的差异达显著水平。

表2 不同施肥处理下的氮、磷、钾肥利用率

Table 2 Use efficiency of N, P and K of fertilization (%)

处理 treatment	氮肥利用率 N use efficiency	磷肥利用率 P use efficiency	钾肥利用率 K use efficiency
N	26.2 b	14.5 b	20.3 b
W ₁	40.4 ab	25.4 a	42.9 a
W ₂	46.99 a	30.2 a	56.1 a

点,比W₁高出0.01百分点,W₂、W₁与CK处理间差异显著,其余处理间差异不显著。

2.5 不同施肥处理对春玉米产量及产量构成的影响

表1所示为春玉米产量及其构成的数据。从表1可以看出,与CK相比,N、W₁、W₂3个处理在产量方面均有提高,对比关系为:W₂>W₁>N>CK, W₂比W₁高出约500kg·hm⁻²,比N高出约1300kg·hm⁻²,施肥处理与CK处理差异显著,W₂与N差异显著,其余处理间不显著;有效穗数方面对比关系为:W₂>N>W₁=CK,处理间差异均不显著;穗粒数对比关系为W₂>W₁>N>CK, W₂比N高出60粒/穗,比W₁高出40粒/

2.7 不同肥料处理下土壤剖面硝态氮淋溶特征分析

硝态氮是土壤氮素淋溶的主要形式,不同种类肥料对土壤硝态氮含量及其空间分布有显著影响,土壤硝态氮含量及峰值出现的深度均存在明显差异(图5)。从图5可以看出,空白处理(CK)0~100cm土层硝态氮含量均最低,各土层都不超过4mg·kg⁻¹。施肥处理中,20~60cm土层内,N处理(普通NPK化肥配施)土壤硝态氮含量低于其他施肥处理,而80~100cm土层高于其他施肥处理,说明普通NPK化肥配施处理硝态氮向下淋溶的强度大于微水溶性缓释肥料;W₂处理(减量灌溉)下,微水溶性缓释肥料处理土壤硝态氮含量在20~60cm土层内最高,在80~100cm土层内最低。减量灌溉下微水溶性缓释肥料土壤硝态氮峰值出现在20~60cm土层,常规灌溉微水溶性缓释肥料土壤硝态氮峰值出现在80cm土层,说明与普通NPK化肥配施相比,微水溶性缓释肥料释放出的养分能够更多的围绕在玉米根系附近,淋失较少,环境风险更低。

3 讨论

微水溶性缓释肥料要具备的特点是能够随降雨或灌溉水的施入即时释放出一定的养分,并且在作物整

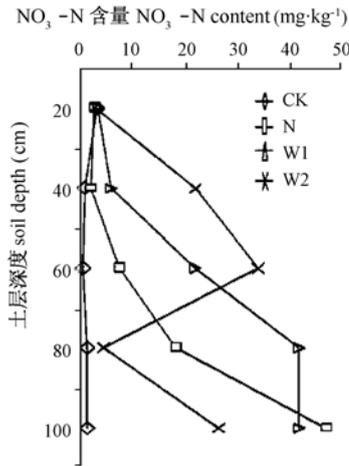


图5 施肥对土壤剖面硝态氮含量的影响

Fig. 5 Effect of fertilization on $\text{NO}_3\text{-N}$ content in soil profiles

个生育期保持养分的缓释性释放,达到在节水情况下实现养分的高效化利用。因此,微水溶性缓释肥料的制备结合了水性生态材料与缓控释包膜肥料的特点。从本试验可以看出,微水溶性缓释肥料在等量施肥情况下,其常规灌溉(W_1)与减量灌溉(W_2)处理均比尿素(N)处理提高了产量与养分利用率,其中减量灌溉处理差异达到了显著水平,此结果与李菡萍、王好斌等的研究结果相似^[12]。而且,由于农田土壤硝酸盐淋失是导致地下水硝酸盐污染的主要原因^[13,14],微水溶性缓释肥料处理还不同程度地降低了硝态氮在0~100cm土体中的浓度。说明微水溶性缓释肥料不仅具有一定的养分缓释效果、提高养分利用率,同时还具有一定的节水效果,这与相关研究结果类似^[15~17]。但我们也看到,本研究中微水溶性缓释肥料对春玉米产量的贡献不仅有氮素的成分,还同时有钾素的成分,氮、钾素利用率的同时提高才实现了增产的效果,这与我们只对氮素缓释研究的初衷有所出入,也是以后应加强和深入研究的方面。另外,从春玉米株高、叶绿素等指标上看,各处理间差异变化不稳定,没有显著体现出氮钾素的缓释作用,尽管在最终的产量和肥料利用率上显著体现。这可能说明在常规灌溉或减量灌溉条件下,氮、钾素的作用在春玉米生长中后期才逐渐体现出来,与他人的研究结果类似^[18~20]。

4 结论

4.1 微水溶性缓释肥料应用于大田作物能够满足作物生长期养分需求,并且与尿素相比能够提高产量及其产量构成,在提高氮素利用率,降低淋失风险方面已

初见成效。

4.2 与尿素氮素释放相比较,微水溶性缓释肥料已具有明显的缓释效果,会随降雨而稳定长效释放,为干旱半干旱地区选择适合的肥料提供了基础数据。

参考文献:

- [1] Bock O C, Olf H W. Fertilizers, agronomy and N_2O [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 52: 165-170
- [2] 于经元, 白书培, 康仕芳. 缓释肥料概况(上)[J]. 化肥工业, 1999, 26(5): 15-19
- [3] 李志勇, 王璞, Marion Boening-Zilkens, Claupein W. 优化施肥和传统施肥对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 90-93, 97
- [4] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 张福锁. 小麦、夏玉米不同品种(系)之间的氮营养效率的差异[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(1): 80-83
- [5] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 尉德铭, 孙政才, 王长武, 刘友, 凌昆. 北京郊区夏玉米高产、高效施肥配套技术研究[J]. 北京农业科学, 1997, 15(3): 27-31
- [6] 焦晓光, 梁文举. 施用控释尿素后土壤尿素氮的转化及其对产量的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 297-299
- [7] 邓森林, 于庆, 王家生. 玉米施长效碳酸氢铵效果的研究[J]. 杂粮作物, 2003, 23(4): 242-243
- [8] 肖强, 孙焱鑫, 张树清, 王甲辰, 左强, 张琳, 陈延华. 半干旱气候条件下微水溶性胶结包膜缓释肥的研制及评价Ⅱ. 植物营养学效果[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17453-17456
- [9] 孙占祥. 风沙半干旱旱地农业综合发展研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 40-95
- [10] 肖强, 王甲辰, 邹国元, 左强, 张琳, 杜连凤, 刘宝存, 黄楠. 一种肥料胶结包膜缓释材料及其制备方法: 中国, 201010568317.7[P]. 2012. 05. 30
- [11] 肖强, 刘宝存, 曹兵, 徐秋明, 衣文平, 杨俊刚, 倪小会, 邹国元, 杨宜斌, 李鸿雁. 一种微水溶性肥料及其制备方法: 中国, 201110168964.3[P]. 2011. 12. 07
- [12] 李菡萍, 王好斌, 胡建民, 李金明, 卢彦德. 夏玉米施用乐喜施可控制释放复合肥的大田试验[J]. 磷肥与复肥, 1998, 2: 66-67
- [13] Kochba M S, Avnimelech Y. Studies on slow release fertilizers. I. Effects of temperature, soil moisture, and water vapor pressure[J]. Soil Science, 1990, 149: 339-343
- [14] Zhang Q Z, Chen X, Shen S M. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(2): 233-238
- [15] 黄楠, 张永清, 杜连凤, 左强, 张琳, 邹国元, 肖强. 微水溶性缓释肥料用复合胶接材料的合成及性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2011, 20(2): 30-33
- [16] 王茹芳, 张夫道, 刘秀梅, 张树清, 何绪生, 王玉军. 胶结型缓释肥在小麦上应用效果的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 340-344

- [17] 肖 强, 王甲辰, 左 强, 张 琳, 刘宝存, 赵同科, 邹国元. 水分对微水溶性胶结包膜肥料氮素释放的影响及其生物学效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 1-6
- [18] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 494-50
- [19] 李燕婷, 李秀英, 赵秉强, 王丽霞, 李小平. 缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, (5): 45-48
- [20] Zheng S X, Nie J, Dai P A, Zheng Y J. Nitrogen recovery and nitrate leaching of controlled release nitrogen fertilizer in irrigated paddy soil[J]. Agricultural Science&Technology Newsletter, 2004, 3(5): 2-10

(责任编辑 邱爱枝)