



王伟,胡钰,孙志玲,等.沸石包膜尿素肥料养分释放特征及其对大豆生物效应的影响[J].黑龙江农业科学,2024(4):18-24.

# 沸石包膜尿素肥料养分释放特征 及其对大豆生物效应的影响

王伟<sup>1</sup>,胡钰<sup>2</sup>,孙志玲<sup>1</sup>,蔡姗姗<sup>1</sup>,魏丹<sup>2</sup>,孙磊<sup>1</sup>,王爽<sup>1</sup>,刘建生<sup>3</sup>

(1.黑龙江省黑土保护利用研究院,黑龙江哈尔滨 150086; 2.北京市农林科学院植物营养与资源研究所,北京 100081; 3.黑龙江省国宏节能环保有限公司,黑龙江哈尔滨 150000)

**摘要:**为研究沸石包膜尿素肥料的缓释机理,提高氮肥利用率,以普通尿素为肥芯,沸石矿物为包膜材料,聚羧甲基纤维素钠为粘结剂,配制出两种沸石包膜尿素肥料,采用室内与田间试验相结合,设置4个土壤肥料养分处理,室内通过淋溶试验研究肥料的缓释性能;田间试验研究沸石包膜尿素施入土壤后,对大豆生物效应和农学效率的影响。结果表明,在土壤中施用10%沸石包膜尿素,总氮、硝态氮和铵态氮淋溶浓度积累量较普通尿素分别减少10.52%、1.64%和46.22%;在土壤中施用20%沸石包膜尿素肥料,总氮、铵态氮和硝态氮浓度积累量较普通尿素分别减少19.83%、18.97%和23.22%。施用沸石包膜尿素能够促进大豆生长,其中施用20%沸石包膜尿素,在减少氮肥20%的情况下,大豆产量和农学效率较优化施肥处理显著提高,说明(施用)利用沸石进行包膜,会减少尿素氮淋溶,延长尿素肥效。

**关键词:**沸石;尿素;大豆;农学效率;产量

氮素是影响作物生长发育和产量形成的重要因素,参与大豆整个生长发育过程。目前,黑龙江省的大豆种植中,尿素作为氮肥,一般在播前或采用种肥同播方式一次性施入,但是在大豆大量需氮时期前,施入土壤的氮会通过挥发、固定、淋溶等方式部分损失,未被大豆生长吸收利用,降低了氮肥利用率。包膜尿素能有效抑制氮素挥发,延长肥效,提高氮肥利用率<sup>[1]</sup>。

利用矿质材料对化学肥料进行包膜,可以增加土壤对氮的保持能力,促进作物生长发育<sup>[2-3]</sup>。沸石是一种多孔状碱金属和碱土金属的硅铝酸盐矿物,是由硅氧四面体(SiO<sub>4</sub>)和铝氧四面体(AlO<sub>4</sub>)构成的独特的三维骨架,具有良好的阳离子吸附和交换性能<sup>[4-5]</sup>,施入土壤后不但能提高化学肥料的利用率、改良土壤、保持土壤水分,还能修复土壤重金属污染<sup>[6-7]</sup>,因此,沸石包膜肥料作为一种新型肥料具有良好的应用前景<sup>[8]</sup>。沸石包膜尿素肥料能延长铵态氮在土壤中的释放时间,具有较好的缓释性能,在以石英砂为介质时效果更佳,能明显减小铵态氮和硝态氮淋溶浓度,减少氮素淋溶损失<sup>[9]</sup>。周宝库<sup>[10]</sup>研究表明,施用沸石能提高小麦、玉米和水稻氮肥利用率。赵斌等<sup>[11]</sup>研究结果表明,沸石包膜尿素肥料处理的玉米产量性状与普通尿素处理存在显著差异,单株玉米干重比普通尿素增加34.5%,但沸石包膜尿素肥料对大豆减肥增效的影响鲜有研究。

本试验利用沸石矿物材料和聚乙烯醇,将普

通尿素进行包膜制成沸石包膜尿素肥料,通过开展室内淋溶试验和田间小区试验,探讨其氮素释放特性及其对大豆产量及氮肥利用率的影响,以期对沸石包膜尿素肥料在减肥增效中进一步研究、推广及应用提供理论基础,为大豆的稳产增效提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

本研究中室内试验所用土壤来源及田间试验地点均为嫩江试验园区,试验用土为黑土,质地为黏壤,取土深度范围为0~20 cm耕层土壤,有机质32.6 g·kg<sup>-1</sup>。碱解氮、有效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、速效钾(K<sub>2</sub>O)含量分别为147.7、45.0和189.8 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 材料

供试肥料为普通尿素(N 46%)、重钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)、氯化钾(K<sub>2</sub>O 60%)、10%沸石包膜尿素(N 41.4%)和20%沸石包膜尿素(N 36.8%),供试大豆品种为黑河43。

沸石包膜尿素肥料是在实验室条件下使用18%的沸石粉,以尿素为肥芯,沸石为膜材料,按照沸石材料和尿素质量比为1:9和2:8的比例对尿素进行包膜,制得了10%沸石包膜尿素和20%沸石包膜尿素肥料。

### 1.3 方法

1.3.1 沸石包膜尿素肥料养分释放特征分析  
设3个处理:普通尿素、10%沸石包膜尿素和20%沸石包膜尿素肥料。

收稿日期:2023-11-16

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1500903-03);国家大豆产业技术体系;黑龙江省“揭榜挂帅”科技攻关项目(2021ZXJ03B05)。

第一作者:王伟(1983-),男,硕士,从事植物营养学研究。E-mail:wangwei123873@163.com。

通信作者:孙磊(1981-),男,博士,从事土壤肥力与大豆养分管理研究。E-mail:33046968@qq.com。

土柱淋溶试验:参照 Paramasivam 等<sup>[12]</sup>提出的方法。向预先用孔径为 0.074 mm 滤布封底口(在滤布上垫少量的玻璃棉)的 PVC 塑料管(直径 5 cm,高 40 cm)中模拟耕层以  $1.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  的容重先装入 200 g(约 10 cm 高)土壤(风干过 2 mm 筛),再在其上按同样紧实度装入土、肥混合物 200 g ( $\text{N } 1\,000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),土柱上面再以少量砂子(25 g)覆盖以防加水时扰乱土层,每个处理重复 3 次。第 1 次根据土壤的饱和含水率先加入 100 mL 去离子水使土壤水分接近饱和,培养 1 d 后再向淋溶柱中加入 50 mL 去离子水,收集 5 h 内淋溶液,淋溶结束后用刺有小孔的保鲜薄膜封闭塑料管上口,室温下培养 2 d 后,用 50 mL 去

离子水进行第 2 次淋溶,以后每隔 2 d 按同样操作进行,分别测定第 2 天、第 4 天、第 6 天、第 8 天、第 10 天、第 12 天、第 14 天的淋溶液全氮、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量。

石英砂淋溶试验:以洗净的石英砂代替土柱淋溶试验中的淋溶土壤在同样条件下进行(第 1 次淋溶前也加 100 mL 去离子水),分别测定第 2 天、第 4 天、第 6 天、第 8 天、第 10 天、第 12 天、第 14 天的淋溶液全氮、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量。

1.3.2 沸石包膜尿素肥料田间试验 试验共设置 4 个处理,全部肥料作基肥施入,3 次重复,随机区组排列,每小区面积为  $39 \text{ m}^2$ 。各施肥处理、施肥量详见表 1。

表 1 试验各处理养分和肥料具体用量表

单位:  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	施肥内容	养分用量			肥料用量			重钙	氯化钾
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	尿素	10%沸石包膜尿素	20%沸石包膜尿素		
OPT	优化施肥	50.0	69.0	30.0	108.7	0	0	150.0	50.0
OPT-N	优化施肥-不施氮	0	69.0	30.0	0	0	0	150.0	50.0
T1	优化施肥减氮 25%+沸石 10%增效剂	37.5	69.0	30.0	0	90.6	0	150.0	50.0
T2	优化施肥减氮 25%+沸石 20%增效剂	37.5	69.0	30.0	0	0	101.9	150.0	50.0

1.3.3 测定项目及方法 沸石材料微观结构与元素分析:利用扫描电子显微镜(日立 SU-3500)对矿质材料的表面进行微观观察;利用能谱仪对矿质材料的元素组成进行半定量分析。

养分释放特征测定:  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  测定采用 KCl 浸提蒸馏-凯氏定氮法<sup>[13]</sup>;  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  测定采用紫外可见分光光度计法<sup>[14]</sup>。

作物农艺性状和肥料效应的计算:作物收获期选取适量植株,测定其株高和荚粒数,自然风干后测定其籽粒重、籽粒百粒重和秸秆干重,3 次重复。

氮肥农学利用效率 = (试验区作物产量 - 对

照区作物产量) / 氮素纯养分投入量

1.3.4 数据分析 利用 Excel 2003 完成数据计算及图表绘制,SPSS 19.0 软件进行相关性分析及显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 沸石的微观结构与元素分析

2.1.1 微观结构 由图 1 可知,扫描电子显微镜下,可以看出天然沸石的形状不规则,结构比较松散,呈现出大小不一琐碎的絮状或聚结成块状,结构内部孔隙较多,空隙较大,这种松散的结构提供了良好的比表面积,使沸石具有强吸附特性。

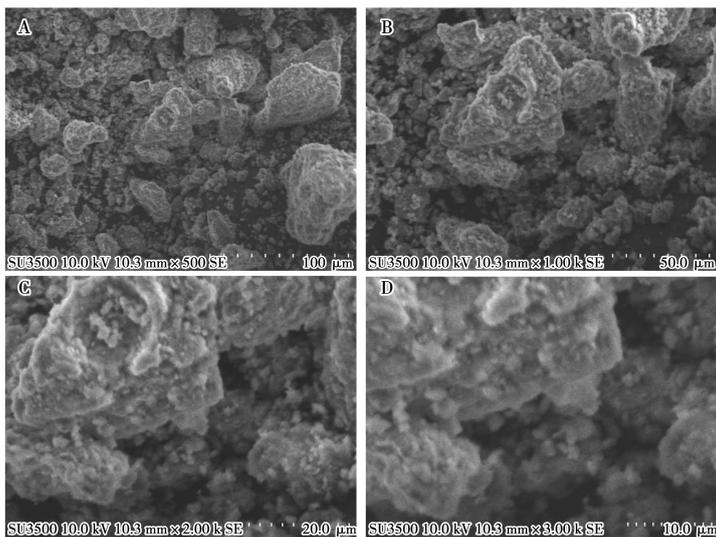


图 1 天然沸石不同放大倍数下的结构特性

2.1.2 元素组成 由表 2 可知,沸石材料主要由 C、O、Mg、Al、Si、K、Ca、Fe 元素组成。O 元素质量百分比最高,C 和 Si 元素质量百分比比较高,Mg、Al、K 和 Fe 元素质量百分比比较低,Ca 元素质量百分比最低。

表 2 沸石的元素质量百分比 单位:%

C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
13.87	57.24	0.21	0.23	25.48	0.38	0.10	0.49

## 2.2 沸石包膜尿素肥料中氮素释放特征

2.2.1 总氮淋出特征 由图 2(A)可知,两种包膜尿素肥料在土壤中总氮淋溶浓度积累量显著低于普通尿素,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料总氮淋溶浓度积累量分别减少 10.52% 和 19.83%,20%沸石包膜尿

素肥料较 10%沸石包膜尿素肥料总氮淋溶浓度积累量减少 10.40%。通过 3 种尿素肥料总氮的释放曲线可用看出,普通尿素和 10%沸石包膜尿素肥料均是在第 6 次(第 12 天)淋溶时达到总氮浓度的最大值,而后下降,20%沸石包膜尿素肥料在第 7 次(第 14 天)淋溶时达到总氮浓度的最大值。

由图 2(B)可知,两种包膜尿素肥料在石英砂中总氮淋溶浓度总体上低于普通尿素肥料,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料总氮淋溶浓度积累量分别减少 7.70% 和 14.24%。通过 3 种尿素肥料总氮的释放曲线可用看出,均是在第 4 次(第 8 天)淋溶时达到最大总氮浓度,而后总氮浓度均逐渐下降,3 种尿素肥料在石英砂中总氮淋溶浓度明显小于土壤。

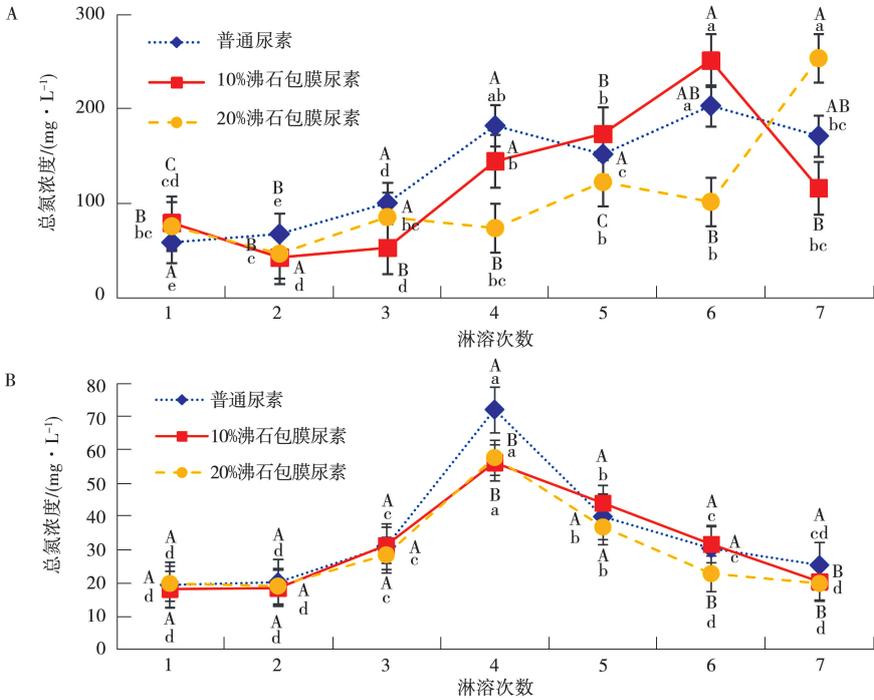


图 2 不同类型尿素肥料在土壤中总氮淋溶(A)和石英砂中总氮淋溶(B)情况

注:不同小写字母表示同一处理不同淋溶次数间差异显著(P<0.05);

不同大写字母表示不同处理相同淋溶次数间差异显著(P<0.05)。下同。

2.2.2 硝态氮淋出特征 由图 3(A)可知,两种包膜尿素肥料在土壤中硝态氮淋溶浓度积累量低于普通尿素肥料,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料硝态氮淋溶浓度积累量分别减少 1.64% 和 18.97%。3 种尿素肥料的硝态氮释放曲线和总氮释放曲线大致相同,普通尿素和 10%复合包膜尿素肥料均是在第

6 次(第 12 天)淋溶时达到硝态氮浓度的最大值,而后下降,20%沸石包膜尿素肥料在第 7 次(第 14 天)淋溶时达到硝态氮浓度的最大值。

由图 3(B)所示,两种包膜尿素肥料在石英砂中硝态氮淋溶浓度积累量显著低于普通尿素肥料,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料硝态氮淋溶浓度积累量分别

减少 10.50% 和 20.81%。通过 3 种尿素肥料硝态氮的释放曲线可用看出,两种沸石包膜尿素肥料均在第 3 次(第 6 天)淋溶时达到最大硝态氮浓

度,普通尿素肥料在第 4 次(第 8 天)淋溶时达到最大硝态氮浓度,3 种尿素肥料在石英砂中硝态氮淋溶浓度累积量明显小于土壤。

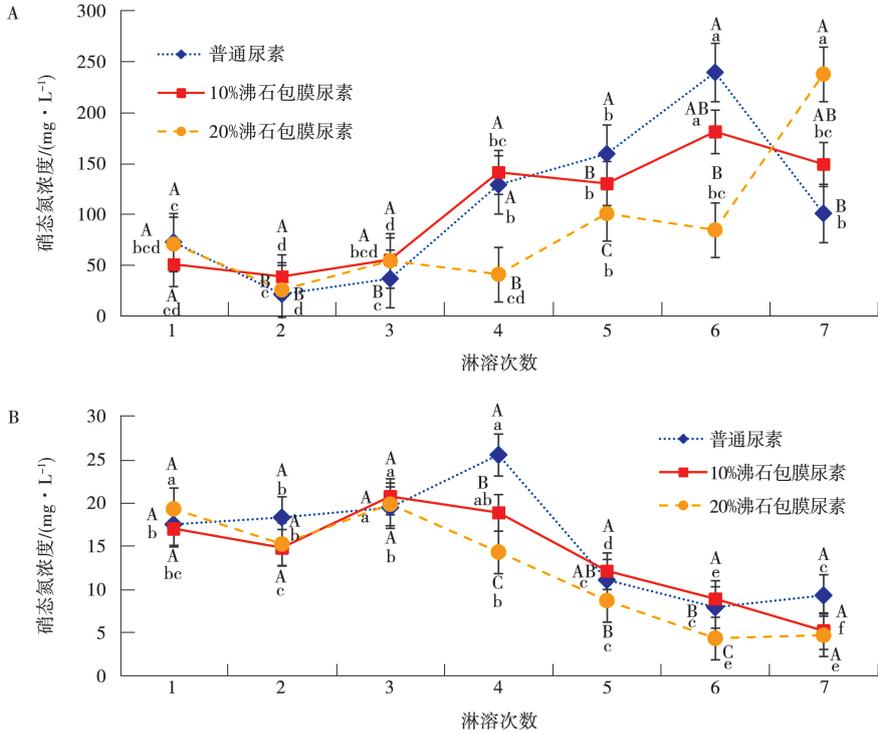
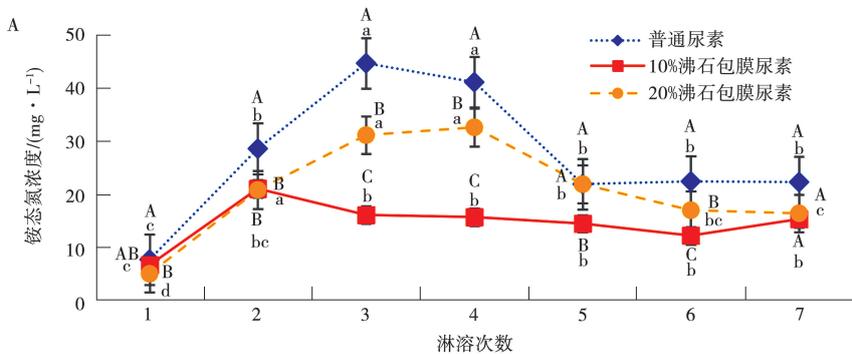


图 3 不同类型尿素肥料在土壤中硝态氮淋溶(A)和石英砂中硝态氮淋溶(B)情况

2.2.3 铵态氮淋出特征 由图 4(A)可知,两种包膜尿素肥料在土壤中铵态氮淋溶浓度累积量显著低于普通尿素肥料,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料铵态氮淋溶浓度累积量分别减少 46.22% 和 23.22%,10%沸石包膜尿素肥料较 20%沸石包膜尿素肥料铵态氮淋溶浓度累积量减少 29.96%。通过 3 种尿素肥料铵态氮的释放曲线可以看出,普通尿素肥料第 3 次(第 6 天)淋溶时达到铵态氮浓度的最大值,10%沸石包膜尿素肥料在第 2 次(第 4 天)淋溶时达到铵态氮浓度的最大值,20%沸石包膜尿

素肥料在第 4 次(第 8 天)淋溶时达到铵态氮浓度的最大值。

由图 4(B)可知,两种包膜尿素肥料在石英砂中铵态氮淋溶浓度累积量显著低于普通尿素肥料,10%沸石包膜尿素肥料和 20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料铵态氮淋溶浓度累积量分别减少 5.27% 和 8.63%。通过 3 种尿素肥料铵态氮的释放曲线可以看出,均在第 4 次(第 8 天)淋溶时达到铵态氮浓度的最大值,3 种尿素肥料在石英砂中铵态氮淋溶浓度累积量明显小于土壤。



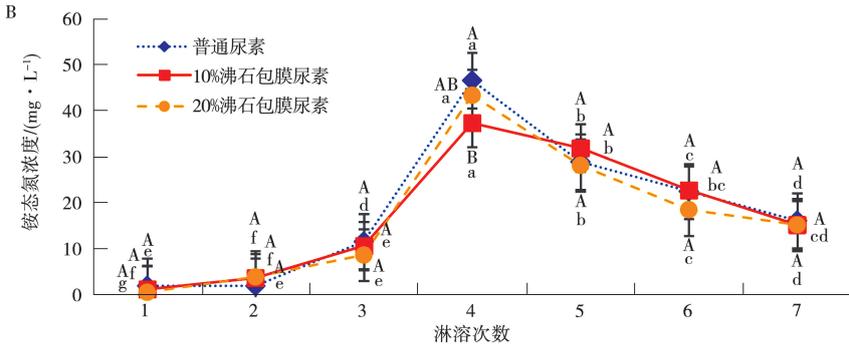


图4 不同类型尿素肥料在土壤中铵态氮淋溶(A)和石英砂中铵态氮淋溶(B)情况

### 2.3 沸石包膜尿素对大豆农艺性状的影响

由图5可知,各处理大豆株高由高到低依次为:T1处理>OPT-N处理、T2处理>OPT处理,其中T1处理的大豆株高为82 cm,OPT处理大豆株高为79 cm。与OPT处理相比,T1处理和T2处理大豆株高分别升高4.02%( $P<0.05$ )和2.70%(图5A)。

各处理大豆秸秆干重由高到低依次为T1处理>T2处理>OPT处理>OPT-N处理,其中T1处理的大豆秸秆干重最高,为3788  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。与OPT处理相比,T1处理和T2处理大豆秸秆

干重分别增加8.48%和3.06%(图5B)。

各处理大豆百粒重由高到低依次为T2处理>OPT处、T1处理>OPT-N处理。与OPT处理相比,T2处理大豆百粒重增加0.47%,T1处理大豆百粒重与之持平,说明施用20%沸石包膜尿素肥料能增加大豆百粒重(图5C)。

各处理大豆产量由高到低依次为T2处理>OPT处理>T1处理>OPT-N处理。与OPT-N处理相比,OPT、T1、T2处理大豆产量分别提高5.82%、0.39%和7.00%( $P<0.05$ )(图5D)。

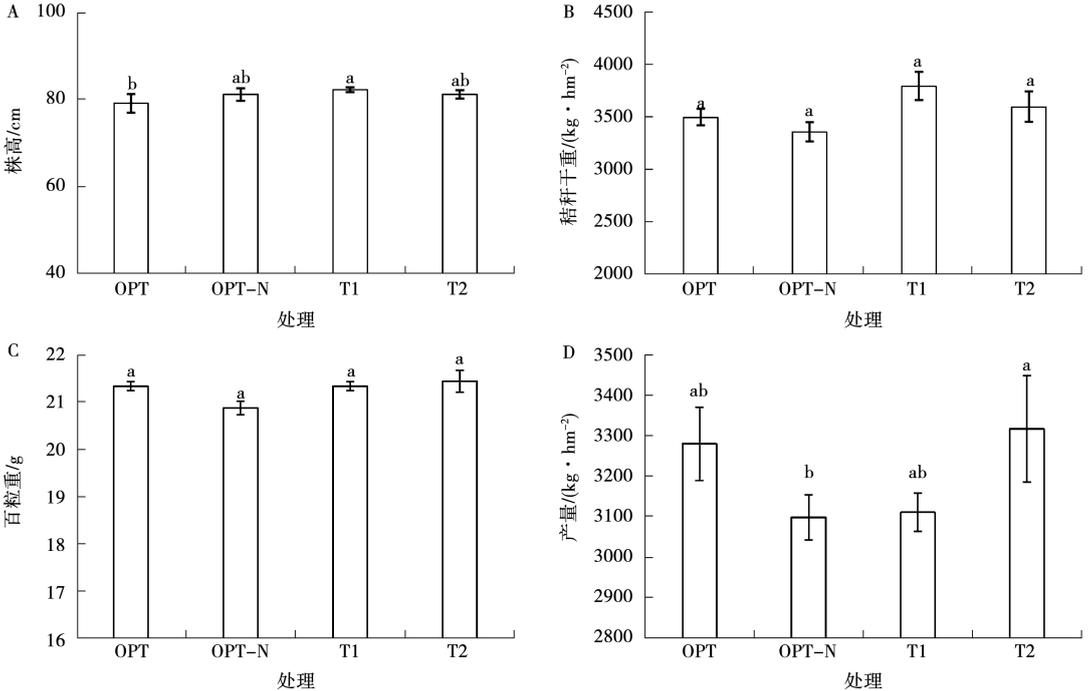


图5 沸石包膜尿素肥料对大豆农艺性状的影响

### 2.4 沸石包膜尿素对氮肥农学利用效率的影响

由图6可知,各处理的氮肥农学利用效率由大到小为T2处理>OPT处理>T1处理,其中T2处理的氮肥农学利用效率最高,为11.07  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

与OPT处理相比,T1处理的氮肥农学利用效率下降0.51  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,T2处理的氮肥农学利用效率提高4.67  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ( $P<0.05$ )。

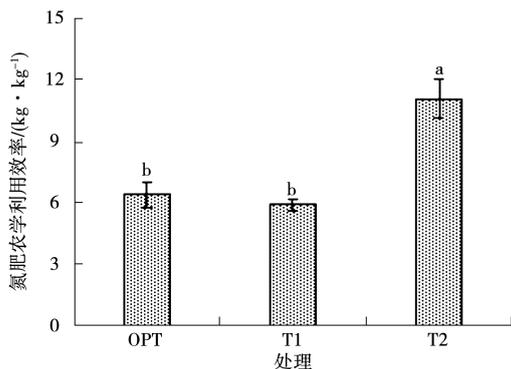


图6 沸石包膜尿素肥料对大豆氮肥农学利用效率的影响

### 3 讨论

本研究通过电子显微镜和能谱仪观察,沸石结构内部孔隙较多,空隙较大,主要由C、O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、K等元素组成,这与姜新福等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。Si元素可以促进大豆种子萌发和幼苗生长<sup>[16]</sup>,C元素可以改善土壤结构和土壤微生物生存环境,为作物生长发育提供良好的基础<sup>[17]</sup>。沸石中含有大量的Si和C,本研究中两种沸石包膜尿素肥料施入土壤,一方面可能是施入的沸石及其养分C改善了土壤结构和性质,为大豆根系生长和根瘤菌固氮提供良好条件;另一方面可能是土壤中Si素含量提高,促进大豆幼苗生长,大豆株高和秸秆干重增加。

白玉超等<sup>[18]</sup>研究结果表明,沸石包膜尿素肥料能减少氮素淋溶损失,提高土壤保氮能力,延长肥效。本研究中两种沸石包膜尿素肥料施用到土壤,总氮淋溶浓度显著低于普通尿素肥料,沸石具有高离子交换性和吸附性<sup>[19]</sup>,可能是沸石提高了土壤对铵态氮的吸附能力,保护了土壤中铵态氮,经过硝化作用转化为硝态氮,进而减少氮淋溶。10%沸石包膜尿素肥料和普通尿素肥料总氮淋溶浓度均在第6次(第12天)淋溶时达到最大值,20%沸石包膜尿素肥料总氮淋溶浓度在第7次(第14天)淋溶时达到最大值,说明20%沸石包膜尿素肥料对延长肥效效果更好。10%沸石包膜尿素肥料铵态氮淋溶浓度在第2次(第4天)淋溶时达到最大值,20%沸石包膜尿素肥料和普通尿素肥料铵态氮淋溶浓度均在第3次(第6天)淋溶时达到最大值,10%沸石包膜尿素肥料的铵态氮淋溶浓度积累量显著低于20%沸石包膜尿素肥料,说明沸石的增加,促进了土壤中铵态氮含量增加,进而能够促进大豆生长,株高和秸秆干重增加,与Ramesh等<sup>[20]</sup>研究结果一致。

大豆具有自身固氮作用,但在大豆需氮素总量中,由根瘤菌所提供的仅为一半左右。OPT-N处理没有施用氮肥,根瘤菌自身固氮不能满足大豆生长发育需求,造成大豆减产。通过两种沸石包

膜尿素肥料总氮释放曲线可以看出,两种沸石包膜尿素肥料具有缓释作用,能延长尿素肥效,其中10%沸石包膜尿素肥料氮释放集中在中期,20%沸石包膜尿素肥料氮释放集中在中后期。大豆在开花期和结荚期需氮量高,10%沸石包膜尿素肥料在大豆需氮高峰期前集中释放,导致后期氮素营养不足,产量下降;20%沸石包膜尿素肥料氮素释放规律更符合大豆需氮规律,从而提高产量。磷肥通过促进根瘤菌固氮酶活性提高大豆对氮的生物固定效率,为物质积累提供更多的原料,增加干物质积累<sup>[21]</sup>。王秀娟等<sup>[22]</sup>研究表明,施用镁肥和钙肥,在促进了氮和磷吸收利用的同时改善了土壤pH,更有利于对养分的吸收。Fe元素可以预防大豆生长发育过程中的缺铁性失绿症<sup>[23]</sup>。沸石中含有Fe、Mg和Ca等营养元素,本研究中20%沸石包膜尿素肥料施入土壤,可能增加土壤铁、镁元素含量,提高大豆光合作用,促进碳水化合物运转,大豆百粒重增加,产量提高。李录久<sup>[24]</sup>、Tsadilas等<sup>[25]</sup>研究表明,沸石可以改善土壤供氮状况,提高氮肥利用率。本研究中20%沸石包膜尿素肥料总氮淋溶浓度积累量显著低于10%沸石包膜尿素肥料,可能是沸石和尿素质量比值增加,提高了土壤对铵态氮的吸附量,减少氮淋溶,对提高土壤供氮水平和促进大豆生长都有积极作用,进而提高氮肥农学效率,从而提高产量。

### 4 结论

沸石结构松散、内部多孔、空隙较大、比表面积大、吸水能力强,含有C、O、Mg、Al、Si、K、Ca、Fe等元素。

沸石包膜尿素肥料在土壤中和石英砂中的氮素释放速率明显慢于普通尿素肥料。在土壤中施用10%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料,总氮淋溶浓度积累量减少10.52%,硝态氮淋溶浓度积累量减少1.64%,铵态氮淋溶浓度积累量减少46.22%;在土壤中施用20%沸石包膜尿素肥料较普通尿素肥料,总氮淋溶浓度积累量减少19.83%,硝态氮淋溶浓度积累量减少18.97%,铵态氮淋溶浓度积累量减少23.22%。施用20%沸石包膜尿素肥料对于减少氮淋溶析出效果最为显著,延长肥效效果最好。

施用沸石包膜尿素肥料能促进大豆生长,增加株高和秸秆干重。施用10%沸石包膜尿素肥料较优化施肥处理大豆株高增加4.02%,秸秆干重增加8.48%;施用20%沸石包膜尿素肥料较优化施肥处理大豆株高增加2.70%,秸秆干重增加3.06%。施用20%沸石包膜尿素肥料,大豆百粒重增加0.47%,氮肥农学利用效率提高4.67 kg·kg<sup>-1</sup>,产量提高1.13%。

综上所述,利用沸石进行包膜,可以减少氮淋溶,延长尿素肥效。选择适宜的沸石和尿素质量比值,其养分释放规律更符合大豆养分吸收规律,提高氮肥农学效率,作物产量提高,本试验中,施用20%沸石包膜肥料综合效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] 邹洪涛. 环境友好型包膜缓释肥料研制及其养分控释机理的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
- [2] 封克,王小治,汪晓丽. 矿物固定态铵研究中的几个问题[C]. //季国亮. 氮素循环与农业和环境专辑:氮素循环与农业和环境学术讨论会论文集. 北京:科学出版社,2001.
- [3] 刘四义. 土壤氮素转化过程与作物氮吸收和氮损失的关系研究[D]. 南京:南京师范大学,2019.
- [4] 姜淳,周恩湘,霍习良,等. 沸石改土保肥及增产效果的研究[J]. 河北农业大学学报,1993,16(4):48-52.
- [5] 汤泉,陈南春. 天然沸石改性方法的研究进展[J]. 材料导报,2009,23(S1):439-441.
- [6] 解占军,王秀娟,牛世伟,等. 沸石与改性沸石在土壤质量改良中的应用研究进展[J]. 杂粮作物,2006,26(2):142-144.
- [7] 祁娜,孙向阳,张婷婷,等. 沸石在土壤改良及污染治理中的应用研究进展[J]. 贵州农业科学,2011,39(11):133-135.
- [8] 陈江,陈霄燕,戴慧敏,等. 沸石矿物在东北地区黑土地盐碱化土壤改良中的应用[J]. 地质与资源,2020,29(6):621-626.
- [9] 胡钰. 基于沸石包膜肥料的大豆减肥稳产增效研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [10] 周宝库. 天然沸石农业利用研究Ⅱ天然沸石对提高化肥利用率的影响[J]. 黑龙江农业科学,1998(2):6-8.
- [11] 赵斌,范兰兰,荆磊,等. 粘土包膜缓释尿素的养分释放特征及其增产效应[J]. 中国土壤与肥料,2008(1):28-31,72.
- [12] PARAMASIVAM S, ALVA A K. Nitrogen recovery from

- controlled-release fertilizers under intermittent leaching and dry cycles[J]. Soil Science, 1997, 162(6): 447-453.
- [13] 高斯侗. 水稻秸秆还田配施氮肥对土壤养分的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:128-129,146-195,296-315,339-385.
- [15] 姜新福,孙向阳,关裕宓. 天然沸石在土壤改良和肥料生产中的应用研究进展[J]. 草业科学,2004,21(4):48-51.
- [16] 沈雪峰,李召虎,段留生,等. 硅对大豆碳代谢及产量形成的影响[J]. 大豆科学,2013,32(2):193-196.
- [17] 向清慧,肖汉乾,杨坤,等. 有机碳肥在作物生产上的应用研究进展[J]. 作物研究,2020,34(2):196-200.
- [18] 白玉超,王德汉,段继贤,等. 生物炭、沸石与化肥配施的农学和环境效应的研究进展[J]. 中国农学通报,2020,36(14):93-100.
- [19] 龚玲婷. 矿物质调理剂对土壤磷素的固持作用及植物营养吸收的影响研究[D]. 广州:华南理工大学,2018.
- [20] RAMESHK, REDDY D D. Zeolites and their potential uses in agriculture[J]. Advances in Agronomy, 2011(113): 219-241.
- [21] 苗淑杰,乔云发,韩晓增. 大豆结瘤固氮对磷素的需求[J]. 农业系统科学与综合研究,2006,22(4):276-278,282.
- [22] 王秀娟,娄春荣,董环,等. 中微量元素对马铃薯产量和养分吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(1):93-94.
- [23] 白宝璋,王本昌,白嵩,等. 缺铁大豆幼苗干物质积累与光合色素含量的变化[J]. 大豆科学,1995,14(1):88-92.
- [24] 李录久. 铵饱和和沸石的增大效果及对肥料利用率的影响[J]. 土壤,1995,27(3):147-150.
- [25] TSADILAS C, ARGYROPOULOS G. Effect of clinoptilolite addition to soil on wheat yield and nitrogen uptake[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2006, 37: 2691-2699.

## Nutrient Release Characteristics of Zeolite Coated Urea Fertilizer and Effect on Soybean

WANG Wei<sup>1</sup>, HU Yu<sup>2</sup>, SUN Zhiling<sup>1</sup>, CAI Shanshan<sup>1</sup>, WEI Dan<sup>2</sup>, SUN Lei<sup>1</sup>, WANG Shuang<sup>1</sup>, LIU Jiansheng<sup>3</sup>

(1. Heilongjiang Black Soil Protection and Utilization Research Institute, Harbin 150086, China; 2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100081, China; 3. Heilongjiang Guohong Energy Conservation and Environmental Protection Co., Ltd, Harbin 150000, China)

**Abstract:** In order to study the slow-release mechanism of zeolite coated urea fertilizer and improve nitrogen fertilizer utilization efficiency, ordinary urea was used as the fertilizer core, zeolite minerals as the coating material, and polycarboxylic methyl cellulose sodium as the binder, and two types of zeolite coated urea fertilizers were prepared. Indoor and field experiments were combined to set up four soil fertilizer nutrient treatments, and the slow-release performance of the fertilizer was studied through leaching experiments; Field experiments were conducted to investigate the effects of zeolite coated urea applied to soil on the biological and agronomic efficiency of soybeans. The results showed that the application of 10% zeolite coated urea reduced the accumulation of total nitrogen, nitrate nitrogen, and ammonium nitrogen leaching concentrations in soil by 10.52%, 1.64%, and 46.22%, respectively. The application of 20% zeolite coated urea fertilizer reduced the accumulation of total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen leaching concentrations in the soil by 19.83%, 18.97%, and 23.22%, respectively. The application of zeolite coated urea promoted soybean growth. Among them, the application of 20% zeolite coated urea significantly improves soybean yield and agronomic efficiency while reducing nitrogen fertilizer by 20%. (Application) Using zeolite coated urea reduces urea nitrogen leaching and prolongs urea fertilizer efficiency.

**Keywords:** zeolite; urea; soybean; agricultural efficiency; yield