# 控释尿素 (CRU) 在冬小麦夏玉米上的施用效果研究

孙克刚 杨焕焕

(河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所/河南省农业生态与环境重点实验室,河南 郑州, 450002)

摘要:通过田间试验方法,评价控释尿素(CRU,含量44%)在冬小麦和夏玉米上的施用效果和方法,通过施用CRU对冬小麦以及夏玉米籽粒, 氮素利用率和土壤硝态氮的影响,揭示CRU在驻马店冬小麦和夏玉米上的施用效果。试验结果表明:等氮条件下,40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施对提高作物产量效果最好,与普通尿素相比,小麦增产了41-53公斤/亩,增产幅度为8.2%-13.6%,玉米增产了40-58公斤/亩,增产幅度为8.1%-15.1%。施用75%的控释用量处理小麦产量为495公斤/亩,玉米产量为485公斤/亩,施用100%普通尿素用量处理小麦产量为497公斤/亩,玉米产量为495公斤/亩,不论是小麦还是玉米二者之间没有显著性差异,说明在该地区通过控释尿素就可以减少25%的施氮量,在提高产量方面控释尿素效果优于普通尿素;40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施处理氮肥利用率最高,小麦为47.8%,玉米为44.3%,等氮条件下小麦提高了10.7-20.1个百分点,玉米提高了5.6-7.5个百分点。另外,在保证产量的情况下,控释尿素处理收获后土壤硝态氮含量要低于普通尿素处理,说明施用控释尿素均提高了小麦玉米产量及氮素利用率且降低了硝态氮被雨水淋失的风险。

关键词:控施氮量,冬小麦,夏玉米,氮肥利用率,土壤硝态氮残余量1

河南省粮食作物的主要种植制度以冬小麦 - 夏玉米一 年两熟为主,其中小麦种植面积约8113万亩,玉米种植 面积约 4727 万亩, 而大约有 95% 以上的玉米面积是与小 麦轮作的夏玉米[1]。化肥作为粮食的"粮食",对粮食的 增产做出了巨大贡献,有研究指出中国作物产量的增加其 中 30%-50% 来源于化肥的投入[2]。近年来,为了追求高 产,小麦玉米生产过程中普遍存在氮肥用量过多的现象, 但是, 当粮食产量达到一定水平, 氮肥的过量施用会导致 硝态氮淋失量的显著增加,据估计,全世界施入土壤中的 氮肥,大约有 30%-50% 经土壤淋失进入地下水 [3],存在 着氮肥利用率低的问题[4-5],而当化肥投入量超过土壤吸 附和作物吸收能力时,便会出现负作用[6-8],例如在引起 土壤硝态氮淋失,污染地下水,造成严重的生态环境 [9-10] 的同时还会诱发钾钙镁等金属离子的大量淋失[11],并进 一步引起土壤的酸化[12-13]。小麦玉米科学施肥是当前施 肥的关键技术, 因此我们在驻马店进行控释肥试验, 意在 通过减少氮肥、控释氮肥等氮肥运筹模式, 在保证增产、 农民增收的前提下,探求提高氮肥利用率,减少土壤硝态 氦残留,降低硝酸盐污染的合理施氮肥措施,以期为实现

农业生态系统高产、高效和促进农业持续发展提供依据。

# 1 材料和方法

## 1.1 试验材料

本试验在河南省驻马店农科所农场进行。供试土壤为砂浆黑土,供试作物为冬小麦(郑麦 366)和夏玉米(郑单 958)。各处理磷、钾肥用量相同并按当地农民习惯作为基肥施入普通过磷酸钙(42%)和加拿大产氯化钾各 6 公斤/亩;大颗粒包膜尿素控释肥为美国加阳公司生产(44%)包膜尿素,施肥量为 12 公斤/亩。试验前采取耕层土壤样品(0-20 厘米)进行分析,供试土壤养分状况见表 1。

表 1 供试土壤养分状况								
作物	有机质	碱解氮 速效磷		速效钾				
	(克/公斤)		(毫克/公斤)					
小麦	9. 8	81. 9	9. 7	61. 4				
玉米	8	82. 3	8. 9	53. 8				

<sup>「</sup>项目资助:本研究得到国际植物营养研究所(IPNI)北京办事处资助。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>作者简介: 孙克刚, 男,河南省政府特殊津贴专家,河南省优秀青年科技专家,硕士生导师,1965年出生,河南固始人,研究员,硕士,主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。获国家及省部级成果15项。《控释肥料高效施用技术研究与应用》获2012河南省科技进步二等奖。

#### 1.2 试验设计

试验选择当地主推的小麦玉米品种及适宜种植密度。试验设置9个处理,冬小麦夏玉米试验小区面积都为4×5=20平方米,各处理均为3次重复,采用完全随机区组设计,小区之间设畦埂,重复之间设走道,田间管理按丰产田要求并记载生物学性状。冬小麦播种量为8.5公斤/亩,播种时间为2010年10月;夏玉米播种密度为5000株/亩,播种时间为2011年6月2日。试验处理详见表2。

土钻采取 0-120 厘米深度的土样,每小区 3 钻,每 30 厘米为一层,按层次混匀,用流动分析仪测定硝态氮含量。

# 2 结果与分析

#### 2.1 控释尿素对冬小麦夏玉米产量的影响

#### 2.1.1 控释尿素对冬小麦产量的影响

由表 3 可知, 施用氮肥均有增产效果, 比不施氮肥处理(CK)增产80-232公斤/亩,增产幅度25.9%-

表 2 试验设计							
处理代号	处理	处理内容					
P0	CK	对照,不施 N 肥					
P1	BU100% B	100% 用量的普通尿素,全部做基肥施用					
P2	CRU 100% B	100% 用量的控释尿素,全部做基肥施用					
P3	BU 40% B+60% T	普通尿素,40%播前基施,60%追肥;					
P4	(BU 40%+CRU 60%) B	40% RU 和 60% CRU 混配,全部作基肥施用					
P5	CRU 75% B	70% 用量的控释尿素,全部做基肥施用					
P6	BU 75% B	70% 用量的普通尿素,全部做基肥施用					
P7	CRU 50% B	50% 用量的控释尿素,全部做基肥施用					
P8	BU 50% B	50% 用量的普通尿素,全部做基肥施用					

## 1.3 样品采集与测定

试验按小区单收,折算成亩产量,并用多重比较(LSD 法)进行差异显著性检验。植株全氮的测定采用半微量凯氏定氮法,并根据测定结果计算氮肥利用率及氮肥农学效率。

氮肥利用率(公斤籽粒/公斤氮)=[施氮区吸氮量-不施氮区吸氮量]/施氮量;

氮肥的农学效率 (%)=[ 施氮区作物产量 – 不施氮区作物产量 ]/ 施氮量  $\times$  100;

土壤硝态氮的测定:作物收获后,分别在各小区内用

75.1%,增产显著(P<0.05)。BU 40% B+60% T处理产量最高,达到 541 公斤/亩,但是与(BU 40%+CRU 60%) B处理和 CRU 100% B处理无统计上的差异显著(P>0.05),等氮条件下,三个处理籽粒产量均显著高于BU100% B处理(P<0.05);随着控释尿素用量的增加,小麦产量也呈增加趋势,CRU 100% B处理比 CRU 75% B处理增产 16.9%,产量提高 76 公斤/亩;比 CRU 50% B处理增产 35.0%,产量提高 136 公斤/亩;CRU 75% B处理比 CRU 50% B处理增产 15.4%,产量提高 60 公斤/亩,普通尿素也表现出同样的趋势;CRU 75% B处理与

表3不同施肥处理对冬小麦籽粒产量和玉米产量的影响									
冬小麦籽粒产量						玉米产	量		
AL TH	产量	5%	较 N0	较 N0	处理	产量	5%	较 N0	较 N0
处理	(公斤/亩)	显著性	增产	增产 (%)		(公斤/亩)	显著性	增产	增产 (%)
N0	309	е	0	0	N0	354	е		
BU100% B	497	b	188	60. 8	BU100% B	495	b	141	39. 8
CRU 100% B	525	a	216	69. 9	CRU 100% B	522	a	168	47.5
BU 40% B+60% T	541	a	232	75. 1	BU 40% B+60% T	528	a	174	49. 1
(BU 40%+CRU 60%)	B 538	a	229	74. 1	(BU 40%+CRU 60%) I	3 535	a	181	51. 1
CRU 75% B	495	b	186	60. 2	CRU 75% B	485	b	131	37. 0
BU 75% B	449	c	140	45. 3	BU 75% B	448	c	94	26. 6
CRU 50% B	442	c	133	43. 0	CRU 50% B	442	c	88	24. 9
BU 50% B	389	d	80	25. 9	BU 50% B	384	d	30	8.8

CRU 100% B 处理相比,虽然 75% 的氮肥用量下小麦籽 粒产量降低,但是与 BU100% B 处理相比,75% 缓释尿 素处理虽然降低了 25% 的氮肥用量,却未影响籽粒产量。 50% 的氮肥用量下小麦籽粒产量进一步降低,但是同样 表现出缓释尿素籽粒产量显著高于普通尿素。

#### 2.1.2 控释尿素对夏玉米产量的影响

由表 3 可知,施用氮肥均有增产效果,比不施氮肥处理(CK)增产 30-181 公斤/亩,增产幅度 8.8%-51.1%,增产显著(P<0.05),各处理产量以(BU 40%+CRU 60%)B处理产量最高,为 535 公斤/亩。等氮量时,CRU处理较 RU处理表现出显著的产量优势,等氮量比较,CRU 100%B处理为 522 公斤/亩,比 BU100%B处理增加 5.5%,产量提高 27 公斤/亩;CRU 75%B处理为 485 公斤/亩,比 BU75%B处理增加 8.3%,产量提高 37 公斤/公顷;CRU 50%B处理为 442 公斤/亩,比 BU50%B处理增加 15.1%,产量提高 58 公斤/亩。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米产量增加,CRU 100% B处理比 CRU 75% B处理增产 7.6%,产量提高 37 公斤/亩,比 CRU 50% B处理增产 18.1%,产量提高 80 公斤/亩,CRU 75% B处理比 CRU 50% B处理增产 9.7%,产量提高 43 公斤/亩。普通尿素也表现出同样的趋势;相同施氮处理 CRU100%B,(BU 40%+CRU 60%)B和 BU 40% B+60% T中,处理(BU 40%+CRU 60%)B比 BU 40% B+60% T 玉米产量增加 7 公斤/亩,但两者之间差异不显著,但这两处理都与 CRU100%B 达到显著性差异,施氮量为 75% 的 CRU 处理和 BU100%B 处理相比,产量并没有显著下降,表明施用 CRU 可以在减少氮肥施用量的同时,并不减少产量。

### 2.2 控释尿素对冬小麦夏玉米氮肥利用率的影响

#### 2.2.1 控释尿素对冬小麦氮肥利用率的影响

由表 4 可知, 氮肥利用率以(BU 40%+CRU 60%) B最高, 为 47.8%, 其次为 CRU75% 处理为 46.6%。等 氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥利用率有不同程度提高, CRU100% B 比 BU100% B 处理提高 7.5 个百分点, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理增加 16.8 个百分点, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理增加 20.1 个百分点。

随着控释尿素氮肥用量的增加小麦氮肥利用率呈先增加后降低的趋势,CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理降低了 2.0 个百分点,但二者没有显著性差异,比 CRU 50% B 处理提高 14.1 个百分点,二者达到显著性差异,CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理提高 16.1 个百分点达到显著性差异,普通尿素处理也有相同的趋势。

(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥利用率提高 2.8 个百分点。

氮肥农学效率以(BU 40%+CRU 60%) B最高,为 15.1 公斤/公斤,其次为 CRU 50% B处理为 14.6 公斤/公斤。等氮量时,CRU处理较 BU处理氮肥农学效率有不同程度提高,CRU 100% B 比 BU100% B 处理提高 3.3 公斤/公斤,CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理提高 4.2 公斤/公斤,CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理提高 9.6 个公斤/公斤。说明在施氮量较低时控释氮肥的优势更明显。(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥农学效率提高 2.2 个百分点。

#### 2.2.2 控释尿素对夏玉米氮肥利用率的影响

由表 4 可知, 氮肥利用率以(BU 40%+CRU 60%) B最高,为 44.3%,其次为 BU 40% B+60% T处理,为 44.1%。等氮量时,CRU处理较 BU处理氮肥利用率有

表 4 控释尿素对冬小麦玉米氮素利用率的影响									
冬小麦氮素利用率的影响						夏玉米	<b></b> 《 氮素利用率的	的影响	
处理	施氮量	地上部氮素	氮素利用率	图 氮素农学效应		施氮量	地上部氮素	氮素利用率	图 氮素农学效应
	(公)	斤/亩)	(%)	(公斤籽粒/公斤氮)	处理	(公斤/亩)		(%) (公斤籽粒/公斤氮)	
N0	0	6. 6e			N0	0	6. 4f		
BU100% B	12	11. 1b	37. 1b	11. 7ab	BU100% B	12	10. 2b	32. 3bc	11. 8bc
CRU 100% B	12	12. 0a	44. 6a	14. 0a	CRU 100% B	12	11. 3a	41. 2 a	14. 0ab
BU 40% B+60% T	12	12. 1a	45. 0a	13. 9a	BU 40% B+60% T	12	11. 7a	44. 1 a	14. 5a
(BU 40%+CRU 60%) I	3 12	12. 4a	47. 8a	15. 1a	(BU 40%+CRU 60%) B	3 12	11. 7a	44. 3 a	15. la
CRU 75% B	9	10.8c	46. 6a	14. 6a	CRU 75% B	9	9. 6c	35. 9 b	14. 6a
BU 75% B	9	9. 3c	29. 8b	10. 4b	BU 75% B	9	8. 9 <b>d</b>	28. 4 cd	10. 4c
CRU 50% B	6	8. 5d	30. 5a	14. 6a	CRU 50% B	6	8. 2e	31. 3 c	14. 7a
BU 50% B	6	7. 3e	10. 4c	5. 0c	BU 50% B	6	7. 9e	25. 7d	5. 0d

高效施肥 2017年 5月总第38期

不同程度提高, CRU100% B 比 BU100% B 处理提高 8.9 个百分点, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理增加 7.5 个百分点, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理增加 5.7 个百分点。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米氮肥利用率增加,CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理提高 5.2 个百分点,比 CRU 50% B 处理提高 9.8 个百分点,CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理提高 4.6 个百分点,普通尿素处理也有相同的趋势。

(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥利用率提高 0.2 个百分点。

氮肥农学效率以(BU 40%+CRU 60%) B最高,为 15.1 公斤/公斤,其次为 CRU 50% B处理为 14.7 公斤/公斤。等氮量时,CRU处理较 BU处理氮肥农学效率有不同程度提高,CRU 100% B 比 BU100% B 处理提高 2.3 公斤/公斤,CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理提高 4.1 公斤/公斤,CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理提高 9.7 个公斤,CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理提高 9.7 个公斤/公斤。说明在施氮量较低时控释氮肥的优势更明显。(BU 40%+CRU 60%)B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥农学效率提高 0.6 个百分点。

# 2.3 控释尿素对冬小麦夏玉米土壤硝态氮残留量的影响

## 2.3.1 控释尿素对冬小麦土壤硝态氮残留量的影响

由图 1 可知, 小麦收获后土壤硝态氮主要集中在土壤 0-60 厘米, 60 厘米以后土壤硝态氮明显降低且同一土层 各施氮处理的土壤硝态氮含量明显高于 N0, 施氮处理提 高了土壤硝态氮含量。在硝态氮含量达到峰值的0-30厘 米土层, BU100% B 处理, BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量分别为 32.3 毫克 / 公斤, 24.9 毫克 / 公斤 和 22.1 毫克 / 公斤呈逐渐降低的趋势, 而其他土层也有 类似的趋势,说明当施用普通尿素时随着施氮量的增加, 土壤硝态氮残留量增加, CRU100% B 处理、CRU75% B 处理和 CRU50% B 处理硝态氮含量分别为 16.3 毫克 / 公 斤,20.6毫克/公斤和21.4毫克/公斤呈逐渐增加的趋 势, 而其他土层 CRU75% B 处理和 CRU50% 处理土层 的硝态氮含量都高于 CRU100% B 处理, 说明减少控释尿 素的施用量可能不利于小麦对土壤氮素的吸收; 等氮条件 下, BU100% B 处理硝态氮含量最高为 32.3 毫克 / 公斤, 其次是 BU 40% B+60% T 处理为 29.7 毫克 / 公斤, 再次 是 (BU 40%+CRU 60%)B 处理为 29.1 毫克 / 公斤,最后 是 CRU 100% B 处理为 16.3 毫克 / 公斤, 其他土层趋势



也较为一致,说明缓释尿素处理能够保持土壤剖面较低的 硝态氮含量,降低了硝态氮随降雨而导致的淋湿风险。

#### 2.3.2 控释尿素对夏玉米土壤硝态氮残留量的影响

由图 2 可知,玉米收获后土壤硝态氮主要集中在土壤 0-60 厘米,60 厘米以后土壤硝态氮明显降低且同一土层 各施氮处理的土壤硝态氮含量明显高于 N0,施氮处理提 高了土壤硝态氮含量。与 BU100% B 处理相比, BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量逐渐降低,说明随着施氮量的增加,土壤硝态氮残留量增加,在硝态氮含量达到峰值的 0-30 厘米土层,BU100% B 处理,BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量分别为 32.5 毫克/公斤,25.0 毫克/公斤和 23.3 毫克/公斤呈逐渐降低的趋势,而其他土层也有类似的趋势,说明当施用普通尿素时

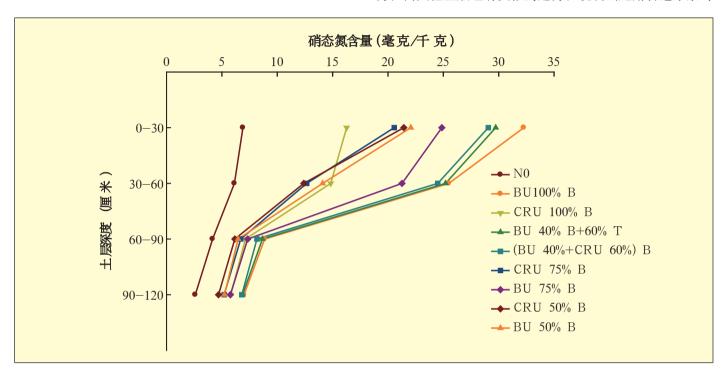


图 1 不同施肥处理对施氮条件下土壤剖面硝态氮含量的影响

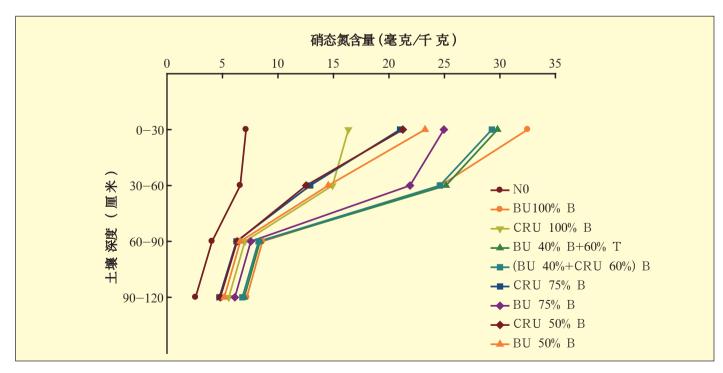


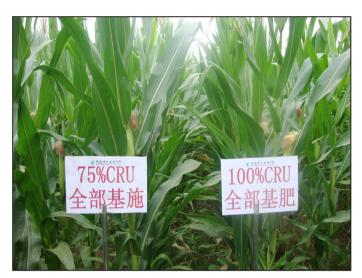
图 2 不同施肥处理对施氮条件下土壤剖面硝态氮含量的影响

随着施氮量的增加,土壤硝态氮残留量增加,CRU100% B 处理、CRU75% B 处理和 CRU50% B 处理硝态氮含量分别为 16.4毫克/公斤,21.0毫克/公斤和 21.3毫克/公斤呈逐渐增加的趋势,而其他土层 CRU75% B 处理和 CRU50% 处理土层的硝态氮含量都高于 CRU100% B 处理,说明减少控释尿素的施用量可能不利于玉米对土壤氮素的吸收;等氮条件下,BU100% B 处理硝态氮含量最高为 32.5毫克/公斤,其次是 BU 40% B+60% T 处理为 29.8毫克/公斤,再次是(BU 40%+CRU 60%)B 处理为 29.3毫克/公斤,最后是 CRU 100% B 处理为 16.4毫克/公斤,其他土层趋势也较为一致,说明缓释尿素处理能够保持土壤剖面较低的硝态氮含量,降低了硝态氮随降雨而导致的淋湿风险,这也与缓释尿素较多被作物吸收有关。

# 3 结论

3.1 在产量方面,小麦产量以40%普通尿素基施,60%普通尿素追施处理最高,达到541公斤/亩,其次为40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施处理,为538公斤/亩,玉米产量以40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施处理处理最高达到535公斤/亩,其次为40%普通尿素基施,60%普通尿素追施处理,为528公斤/亩。等氮量处理100%普通尿素追施处理,为528公斤/亩。等氮量处理100%普通尿素全部基施,40%普通尿素基施,60%普通尿素追施,40%普通尿素基产处理之间没有达到显著性差异,但与100%普通尿素全部基施处理均达到显著性差异,但与100%普通尿素全部基施处理均达到显著性差异,说明控释尿素处理优于普通尿素处理,等氮条件下,40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施对提高作物产量效果









最好,与普通尿素相比,小麦增产了41-53公斤/亩,增产幅度为8.2%-13.6%,玉米增产了40-58公斤/亩,增产幅度为8.1%-15.1%。施用75%的控释用量处理小麦产量为495公斤/亩,玉米产量为485公斤/亩,施用100%普通尿素用量处理小麦产量为497公斤/亩,玉米产量为495公斤/亩,不论是小麦还是玉米二者之间没有显著性差异,说明在该地区通过控释尿素就可以减少25%的施氮量。

3.2 在氮素利用方面,40% 普通尿素与60% 控释尿素掺混全部基施处理、40% 普通尿素基施,60% 普通尿

素追施处理和100% 控释尿素全部基施处理氮肥利用率小麦上依次为47.8%、45.0% 和44.6%,玉米上依次为44.3%、44.1% 和41.2%,三个处理间没有显著性差异,但都与100% 普通尿素全部基施达到显著性差异;等氮量时,控释处理较普通尿素处理氮肥利用率有不同程度提高,小麦提高了10.7-20.1 个百分点,玉米提高了5.6-7.5个百分点说明,在提高氮素利用率方面,40% 普通尿素与60% 控释尿素掺混全部基施处理效果最好。另外,在保证产量的情况下,控释尿素处理收获后土壤硝态氮含量要低于普通尿素处理,说明控释尿素与普通尿素相比显著提高小麦玉米的氮素利用率,降低土壤硝态氮的含量。

## 参考文献

- [1] 何守法. 小麦和夏玉米一体化种植布局与技术经济效果研究 [D]. 河南农业大学, 2009.
- [2] Xie JC, Xing WY, Zhou JM. Current use of nutrients for sustainable food production in China. Johnson AE, Syers JK, Eds. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia. CAB International, Wallingford, 1998.
- [3] Van Drecht G, Bouwmann A F, Knoop J M et al. Global pollution of surface waters from point and sources of nitrogen [J]. Sci. World, 2001, 2: 632-641.
- [4] 徐钰, 刘兆辉, 江丽华, 等. 不同氮肥运筹对冬小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响[J]. 水土保持学报, 2010, (04):90-93+98.
- [5] 陈祥,同延安, 亢欢虎, 等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, (03):450-455.
- [6] 宋长春,何岩,邓伟.松嫩平原盐渍土壤生态地球化学[M]. 北京:科学出版社,2003:204-237.
- [7] 裘善文,张柏,王志春.吉林省西部土地荒漠化现状、特征与

- 治理途径研究[J]. 地理科学, 2003, 23(2):188-192.
- [8] 李彬, 王志春, 梁正伟, 等. 吉林省大安市苏打碱土碱化参数 之间的关系[J]. 土壤通报, 2007, 38(3):443-446.
- [9] 栗丽,洪坚平,王宏庭,等.施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,(06):1358-1365.
- [10] 冯绍元,张自军,丁跃元,等.降雨与施肥对夏玉米土壤硝态氮分布影响的田间试验研究[J].灌溉排水学报,2010,(05):11-14.
- [11] Cahn M D, Bouldin D R, Cravo M S et al. Cation and nitrate leaching in an Oxisol of Brazilian Amazon[J]. Agron. J., 1993, 85: 334-340.
- [12] Vitousek P M, Naylor R, Crews T et al. Nutrient imbalances in agricultural development[J]. Science, 2009, 324: 1519-1520.
- [13] Zhang W F, Christie P, Goulding K W T et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.