

尿素硝酸铵溶液减量增效施用对小麦产量和氮素吸收利用的影响

张运红,姚 健*,和爱玲,杜 君,郑春风,张洁梅

(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:采用盆栽试验,研究了尿素硝酸铵溶液(UAN)减量增效施用对小麦产量和氮素吸收利用的影响,旨在为推动液体氮肥在农业生产中的应用提供理论依据。结果表明:同等施氮条件下,与尿素相比,施用 UAN 处理的不同生育时期小麦株高、生育后期功能叶片叶绿素含量(SPAD 值)分别提高了 4.6%~24.5%、5.0%~9.7%,产量提高了 31.9%,且主要归因于穗数的增加。UAN 减氮 20%(80% UAN)处理与尿素全量(100% UN)处理相比,小麦不减产,在此基础上添加增效剂海藻酸钠寡糖(AOS)、氨基酸(aa)分别使小麦增产 18.5%、5.6%。同等施氮条件下,施用 UAN 还可提高小麦花前地上部营养体的氮素转移能力及其对籽粒的贡献率,与 100% UN 处理相比,UAN 全量(100% UAN)处理的植株总氮累积量增加 24.4%,氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率也分别显著提高 24.1%、27.1%、33.9%、31.9%。80% UAN 处理较 100% UN 处理植株总氮累积量显著增加 22.0%,氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率显著提高 52.2%、55.5%、21.8%、22.0%;在此基础上添加 AOS,氮素收获指数及其他氮素利用相关指标较 80% UAN 处理进一步显著提高,添加纳米 $Mg(OH)_2$ 对植株氮含量提升幅度最大,花期和成熟期秸秆氮含量分别较 80% UAN 处理增加 40.7% 和 16.3%,对其他指标影响较小。综上,尿素硝酸铵溶液在小麦上施用效果优于尿素,可实现节肥增效。

关键词: 尿素硝酸铵溶液; 小麦; 施用; 产量; 氮素吸收利用

中图分类号: S145.2 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2017)11-0006-07

Effects of the Reducing and Efficiency-increasing Application of Urea Ammonium Nitrate Solution on the Yield and Nitrogen Uptake and Utilization of Wheat

ZHANG Yunhong, YAO Jian*, HE Ailing, DU Jun, ZHENG Chunfeng, ZHANG Jiemei

(Institute of Plant Nutrition & Agricultural Resources and Environmental Science/Henan Key Laboratory of Agricultural Eco-environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Pot experiments were conducted to study the effects of the reducing and efficiency-increasing application of urea ammonium nitrate solution(UAN) on the yield and nitrogen uptake and utilization of wheat, in order to provide scientific basis for the application of liquid nitrogen fertilizer in agricultural production. The results showed that compared with urea, applying UAN increased the plant height by 4.6%—24.5% at different growth stages of wheat and increased the SPAD value of functional leaves by 5.0%—9.7% at the late growth stage under the same nitrogen level, thereby raising the yield by

收稿日期:2017-07-31
基金项目:河南省科技开放合作项目(172106000044);“十二五”国家科技支撑计划(2013BAD07B07,2015BAD23B0208)
作者简介:张运红(1983-),女,河南新乡人,助理研究员,博士,主要从事植物营养与施肥研究。
E-mail:snowgirl23@126.com
* 通讯作者:姚 健(1959-),女,山西浮山人,副研究员,硕士,主要从事植物营养和土壤农化研究。
E-mail:13676942172@163.com

31.9%, which was mainly due to the increase of panicle number. The yield of 80% UAN treatment did not change significantly as compared to 100% urea treatment, but was increased by 18.5% or 5.6% after fertilizer synergist alginate oligosaccharides (AOS) or amino acid (aa) was added, respectively. Under the same nitrogen level, compared with urea, applying UAN also enhanced the ability of transferring nitrogen to seeds of upper ground organs in early growth period and the contribution to the grain, thereby increasing total nitrogen accumulation in plant by 24.4%; Moreover, nitrogen uptake efficiency, nitrogen recovery efficiency, agronomic nitrogen utilization efficiency and nitrogen fertilizer productive efficiency were also significantly increased by 24.1%, 27.1%, 33.9% and 31.9%, respectively. Total nitrogen accumulation of 80% UAN treatment was 22.0% higher than 100% urea treatment, and nitrogen uptake efficiency, nitrogen recovery efficiency, agronomic nitrogen utilization efficiency and nitrogen fertilizer productive efficiency were also significantly increased by 52.2%, 55.5%, 21.8% and 22.0%, respectively. The 80% UAN treatment with AOS added further raised nitrogen harvest index and other nitrogen utilization related indicators as compared to 80% UAN treatment. The nitrogen contents of the 80% UAN treatment with nano $Mg(OH)_2$ added were significantly increased, with the increase amplitude of 40.7% and 16.3% in shoot at the flowering stage and mature stage, but the changes of other indicators were relatively smaller. In conclusion, the application effects of UAN on wheat were better than urea, for saving fertilizers and increasing revenue.

Key words: urea ammonium nitrate solution; wheat; application; yield; nitrogen uptake and utilization

氮是作物生长的必需营养元素之一,在产量和品质形成中起着关键作用。合理的氮肥运筹可保证作物生长发育期间良好的氮素营养供应,协调营养生长与生殖生长之间的关系,实现作物优质高产^[1-2]。我国传统氮肥主要是碳酸氢铵、尿素,其具有速溶、速散特性,需大量施用才能保证产量。但氮肥的大量施用不仅降低了肥料利用率、增加了农业成本,还会引发农业面源污染、土壤板结等环境问题,进而制约农业的可持续发展^[3-5]。目前,我国氮肥利用率仅为 30%~35%,北方地区小麦、玉米种植区氮肥损失量高达 20%~55%^[6-7]。因此,如何提高氮肥利用率、降低施用量及研制高效、无污染、成本较低的新型氮肥已成为现代农业科学发展的重要课题。近年来,增效肥、液体肥、水溶肥等新型肥料和以水肥一体化为代表的精细化水肥管理技术成为破解当前氮肥利用困局的关键。尿素硝酸铵溶液 (UAN) 是含有 NO_3^- 、 NH_4^+ 、酰胺态氮 3 种氮源的一种新型液体氮肥,具有产品中性和腐蚀性低、复配性好等优点,在农业生产尤其是水肥一体化管理中具有良好的应用前景^[3]。徐传银等^[8]研究表明, UAN 喷施代替分蘖肥、促花肥、保花肥后,水稻穗粒数、产量较传统配方施肥处理增加 4.8%~12.1%、2.2%~2.4%。王靖荃等^[9]在大白菜上追施 UAN 后发现,其叶片维生素 C、可溶性糖、硝酸盐含量显著提高。程学刚等^[10]在 UAN 中添加腐植酸和黄腐酸 2 种增效剂后发现,增效 UAN 对菜花生长发育有明显的促进作用,提高了其幼苗株高、茎粗、干质量、叶绿素含

量、根系活力等指标,氮肥利用率显著提升。因此,以 UAN 代替一定量的传统尿素,可降低生产成本,实现氮肥改性增效,保证肥料产业的健康稳步发展。现阶段我国农业现代化、肥料产业发展存在高效环保肥、专用肥发展迟延,现代水肥管理滞后等问题,导致 UAN 在农业应用与推广上严重滞后。小麦是我国重要的商品粮和战略性粮食储备品种,对保障我国粮食安全和小麦产区农业增效与农民增收起重要作用^[11]。鉴于此,以小麦为材料,研究 UAN 减量增效施用对小麦产量和氮素吸收利用的影响,旨在为促进新型肥料的应用、减少环境污染、提高作物产量提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试尿素硝酸铵溶液 (UAN, 总 N 含量为 32%, 其中 $NO_3^- - N$ 、 $NH_4^+ - N$ 含量均为 7.75%, 酰胺态氮含量为 16.5%, 缩二脲和水不溶物含量均 $\leq 0.5\%$, pH 值为 6.8), 由河南省晋开化工投资集团有限责任公司提供; 供试土壤采自河南省郑州市郊区, 土壤类型为潮土, 基本理化性质为: 有机质含量 2.78 g/kg、速效氮含量 44.92 mg/kg、速效磷含量 9.1 mg/kg、速效钾含量 98.62 mg/kg, pH 值为 8.12。供试小麦品种为郑麦 0943。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 10 月—2017 年 5 月在河南省农业科学院科研园区进行。采用土培盆栽试验, 选用

聚乙烯塑料盆,每盆装过 2 mm 筛的土 10 kg。试验设 7 个处理,分别为:处理 1,对照(CK),不施氮肥处理;处理 2,尿素全量(100% UN);处理 3,UAN 全量(100% UAN);处理 4,UAN 减氮 20%(80% UAN);处理 5,UAN 减氮 20% + 海藻酸钠寡糖(80% UAN + AOS);处理 6,UAN 减氮 20% + 纳米 $Mg(OH)_2$ [80% UAN + $Mg(OH)_2$];处理 7,UAN 减氮 20% + 氨基酸(80% UAN + aa)。每个处理重复 3 次,共 21 盆。氮肥全量施用量为纯氮 0.25 g/kg,减量施用量为纯氮 0.20 g/kg,施肥方式为 50% 基施、50% 追施。磷钾肥采用 KH_2PO_4 ,施用量为 0.4 g/kg,施肥方式为基施。海藻酸钠寡糖、纳米 $Mg(OH)_2$ 、氨基酸在肥料中的含量均为 0.3%。穴施播种,每盆 6 穴,每穴 10 粒,30 d 后间苗至每穴 6 株,小麦生长期通过称质量法维持盆中土壤水分含量在田间持水量的 70% 左右。

1.3 指标测定及方法

1.3.1 株高和 SPAD 值 于苗期、返青期、拔节期、开花期、成熟期测定小麦株高,于苗期、返青期、拔节期、开花期、灌浆期测定功能叶片 SPAD 值(倒二叶),其中株高采用尺测,SPAD 值采用 SPAD-502 叶绿素仪测定。

1.3.2 产量及其构成因子 在成熟期收割各处理的全部植株,脱粒后以风干质量换算出籽粒产量;每个处理选取代表性植株 5 株,换算出穗粒数;在各处理风干测产的籽粒样本中计算千粒质量。

1.3.3 氮含量及氮效率 分别于开花期和成熟期采集植株样品,并将成熟期样品分为籽粒和茎叶两部分,105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘至恒质量,测定其干质量。取烘干样,粉碎后用半微量凯氏定氮仪测定各器官全氮含量,并计算氮素累积量、营养器官氮素转运量、营养器官氮素转运率、营养器官转运氮素对籽粒氮素的贡献率、花后氮吸收量、花后氮吸收量对籽粒氮素的贡献率、氮素收获指数、氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学效率和氮肥生产效率。各指标计算公式如下:

各器官氮素累积量 = 氮素含量 × 干质量,

营养器官氮素转运量 = 开花期营养器官氮素累积量 - 成熟期营养器官氮素累积量,

营养器官氮素转运率 = 营养器官氮素转运量 / 开花期营养器官氮素累积量 × 100%,

营养器官转运氮素对籽粒氮素的贡献率 = 营养器官氮素转运量 / 成熟期籽粒氮素累积量 × 100%,

花后氮吸收量 = 成熟期地上部氮素累积量 - 开花期器官氮素累积量,

花后氮吸收量对籽粒氮素的贡献率 = 花后氮吸收量 / 成熟期籽粒氮素累积量 × 100%,

氮素收获指数 = 籽粒氮素累积量 / 植株地上部氮素累积量 × 100%,

氮素吸收效率 = 植株地上部氮素累积量 / 施氮量,

氮素表观回收率 = (施肥区作物氮素累积量 - 空白区氮素累积量) / 施氮量 × 100%,

氮素农学效率 = 作物施肥后增加的产量 / 施氮量,

氮肥生产效率 = 籽粒产量 / 施氮量。

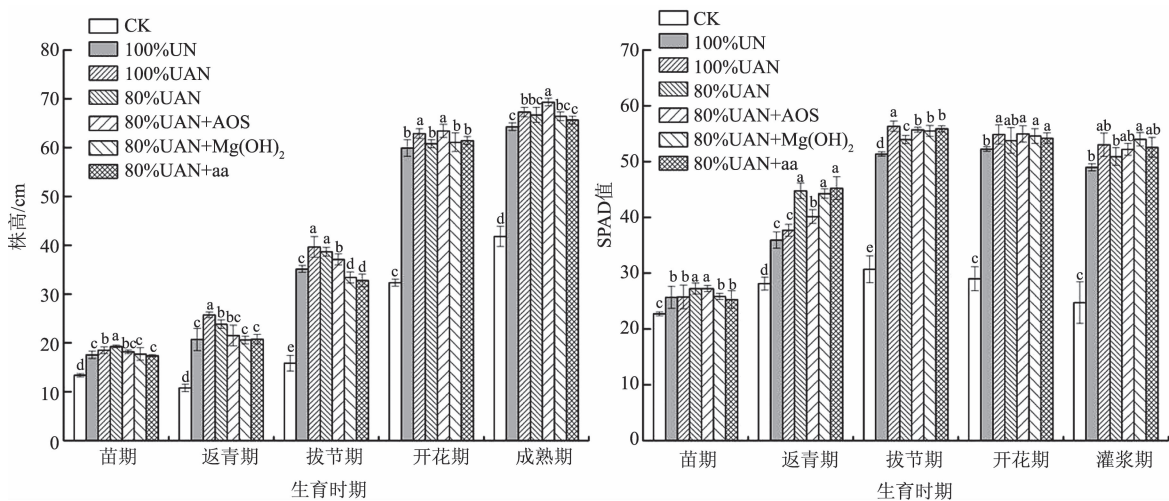
1.4 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据处理,SPSS 17.0 进行方差分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 UAN 减量增效施用对小麦株高和 SPAD 值的影响

由图 1 可知,与 CK 相比,UAN 全量或减量 20% 施用均可显著提高小麦不同生育时期株高,其中 100% UAN 处理较 CK 增加 38.4% ~ 150.7%,较 100% UN 处理显著增加 4.6% ~ 24.5%;80% UAN 处理较 CK 增加 44.3% ~ 144.4%,在苗期、返青期、拔节期较 100% UN 处理分别增加 9.9%、15.2%、10.1%。80% UAN + AOS 处理在拔节期、开花期、成熟期较 100% UN 处理分别增加 5.6%、5.9%、7.8%,开花期和成熟期较 80% UAN 处理显著增加 4.3% 和 3.9%。以 SPAD 值来看,UAN 全量或减量 20% 处理的不同生育时期小麦叶片 SPAD 值均显著高于 CK,其中 100% UAN 处理较 CK 增加 13.4% ~ 114.6%,较 100% UN 处理增加 5.0% ~ 9.7%;80% UAN 处理较 CK 增加 19.9% ~ 106.15%,在苗期、返青期、拔节期较 100% UN 处理分别增加 6.1%、24.7%、5.1%;80% UAN + AOS 处理除灌浆期外也显著高于 100% UN 处理,增幅为 5.2% ~ 11.8%;80% UAN + $Mg(OH)_2$ 和 80% UAN + aa 处理在返青期、拔节期、开花期较 100% UN 处理分别增加 23.3%、8.0%、4.5% 和 26.0%、8.8%、3.8%;3 个添加增效剂的 80% UAN 处理在拔节期、开花期、灌浆期较 80% UAN 处理也均有不同程度增加。结果说明,同等施氮条件下,与尿素相比,施用 UAN 可提高小麦生育后期功能叶片叶绿素含量,促进植株生长;减量条件下,UAN 添加不同增效剂处理的小麦生育后期长势明显好于未添加处理。



不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)
图 1 UAN 减量增效施用对小麦株高和 SPAD 值的影响

2.2 UAN 减量增效施用对小麦产量及其构成因子的影响

由表 1 可知,与 CK 相比,UAN 全量或减量 20% 施用均可显著提高小麦穗数,且除 80% UAN 处理外,其余处理也显著高于 100% UN 处理,以 100% UAN 处理效果最好,较 CK、100% UN 处理分别增加 44.0%、27.1%。80% UAN + AOS、80% UAN + Mg(OH)₂、80% UAN + aa 处理较 100% UN 处理分别增加 10.6%、7.1%、10.6%。UAN 处理的小麦穗长和穗质量均显著高于 CK、100% UN 处理,其中穗长分别增加 127.8% ~ 145.9%、7.8% ~ 9.8%,以 80% UAN + AOS、80% UAN + aa 处理最好,其次为 100% UAN、80% UAN、80% UAN + Mg(OH)₂ 处理;穗质量分别增加 8.0 ~ 9.7 倍、5.7% ~ 25.5%,以

80% UAN + AOS 处理最高。穗粒数以 80% UAN + AOS 处理最高,分别较 CK、100% UN 处理增加 6.6 倍、24.9%,且差异显著,其次为 80% UAN + aa、100% UAN 处理,二者均显著高于 CK 和 100% UN 处理。千粒质量除 80% UAN 和 100% UN 处理无显著差异外,其余处理均较之显著下降。100% UAN 处理产量最高,分别较 CK、100% UN 处理增加 22.3 倍、31.9%,其次是 80% UAN + AOS 处理,分别增加 20.0 倍、19.0%,80% UAN + aa 处理产量较 100% UN 处理显著增加 5.6%。结果说明,同等施氮量条件下,与尿素相比,UAN 可促进小麦增产,主要归因于穗数的增加;UAN 减量 20% 施用小麦不减产,在此基础上添加增效剂 AOS 或 aa 可促进产量的提高,主要归因于穗数和穗粒数的增加。

表 1 UAN 减量增效施用对小麦产量及其构成因子的影响

处理	穗数/(个/盆)	穗长/cm	穗质量/g	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g	产量/(g/盆)
CK	25.00d	3.38d	0.29e	7.38e	25.00d	2.29e
100% UN	28.33c	7.14c	2.47d	44.83d	43.37a	40.48d
100% UAN	36.00a	7.84b	2.69bc	48.00c	41.10b	53.41a
80% UAN	28.00c	7.70b	2.76b	45.92d	44.10a	39.50d
80% UAN + AOS	31.33b	8.31a	3.10a	56.00a	38.33c	47.97b
80% UAN + Mg(OH) ₂	30.33b	7.81b	2.61c	45.75d	40.50b	40.40d
80% UAN + aa	31.33b	8.08ab	2.67bc	50.67b	37.53c	42.73c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同。

2.3 UAN 减量增效施用对小麦氮素吸收与转移的影响

由表 2 可知,与 CK 相比,UAN 全量或减量 20% 施用均可显著提高小麦花期氮含量和累积量,除 80% UAN + aa 处理外,其余处理的氮含量也显著高于 100% UN 处理,以 80% UAN + Mg(OH)₂ 处理最高,较 CK、100% UN 处理分别增加 131.0%、51.4%。

100% UAN 处理的花期氮累积量、成熟期秸秆氮含量、植株总氮累积量较 100% UN 处理显著提高 48.5%、15.0%、24.4%。100% UAN 和 80% UAN 的成熟期籽粒氮含量、氮累积量和总氮累积量均高于 CK、100% UN 处理,成熟期籽粒氮含量分别增加 42.5% ~ 49.3%、9.4% ~ 14.7%,以 100% UAN 处理最高;籽粒氮累积量分别增加 11.7 ~ 14.5 倍、13.8% ~ 38.8%,

总氮累积量分别增加 10.4 ~ 12.7 倍、13.0% ~ 36.6%,二者均以 80%UAN + AOS 处理最高。结果表明,同等施氮量或减氮 20%条件下,UAN 均可促进小麦对氮的吸收和累积;减量条件下,UAN 添加纳米 Mg(OH)₂ 对植株氮含量提升幅度较大,但总氮累积量则以添加 AOS 处理最高。

表 2 UAN 减量增效施用对小麦氮素吸收与累积的影响

处理	氮含量/%			氮累积量/(mg/株)			
	花期	成熟期		花期	成熟期		总累积量
	秸秆	秸秆	籽粒	秸秆	秸秆	籽粒	
CK	0.329e	0.130e	0.529d	1.586d	0.348d	1.515d	1.863d
100% UN	0.502d	0.140b	0.689c	12.045b	1.753c	16.964c	18.717c
100% UAN	0.651b	0.161a	0.790a	17.890a	2.011a	21.277b	23.288b
80% UAN	0.540c	0.135bc	0.757b	11.044b	1.925ab	20.903b	22.828b
80% UAN + AOS	0.548c	0.146b	0.759b	11.897b	2.025a	23.540a	25.565a
80% UAN + Mg(OH) ₂	0.760a	0.157ab	0.760b	13.474b	1.852b	19.306b	21.158b
80% UAN + aa	0.487d	0.136bc	0.754b	7.830c	1.896b	20.149b	22.045b

氮素收获指数(NHI)是衡量植物体内氮素向籽粒转移的重要参数,反映了氮素在植株体内的分配情况。由表 3 可知,与 CK 相比,UAN 全量或减量 20%施用均可提高小麦 NHI、地上部营养体氮素转运量、花后氮素吸收量,其中 NHI 增幅为 12.2% ~ 13.2%,以 80%UAN + AOS 处理最高;花前氮素转运量增加 3.8 ~ 11.8 倍,以 100%UAN 处理最高,较 100%UN 处理显著提高 54.3%;花后氮素吸收量以 80%UAN + aa、80%UAN + AOS 处理最高,较 100%UN 处理分别增加 113.1%、104.9%。花前氮素转运率除 80%UAN + aa 处理外,其余处理均显著高于 CK,增幅为 6.3% ~ 13.7%,以 100%UAN 处理最高;UAN 全量或减量 20%处理的花前氮素转运量对籽粒的贡献率较 CK 显著降低 8.7% ~ 64.0%,但

100%UAN 处理较 100%UN 处理显著增加 23.0%,80%UAN + Mg(OH)₂ 处理较 80%UAN 处理显著增加 38.0%,80%UAN + aa 处理较之显著下降 32.5%;花后氮吸收量对籽粒的贡献率以 80%UAN + aa 处理最高,较 100%UN 处理增加 79.4%,其次为 80%UAN + AOS、80%UAN 处理,较 100%UN 处理分别增加 47.6%、43.3%。结果说明,同等施氮量条件下,与 UN 相比,UAN 可提高小麦花前地上部营养体的氮素转移能力及其对籽粒的贡献率;减量条件下,UAN 添加 AOS 可提高小麦的 NHI;添加纳米 Mg(OH)₂ 可提高花前氮素转运量对籽粒的贡献率,添加氨基酸的花前氮素转运量及其对籽粒的贡献率则显著降低。

表 3 UAN 减量增效施用对小麦氮素转移的影响

处理	氮素收获指数/%	地上部营养体氮素转移能力			花后氮素吸收能力	
		转运量/(mg/株)	转运率/%	对籽粒贡献率/%	吸收量/(mg/株)	对籽粒贡献率/%
CK	81.32c	1.238e	78.06c	81.72a	0.277d	18.28e
100% UN	90.63b	10.292b	85.45ab	60.67c	6.672c	39.33c
100% UAN	91.36b	15.879a	88.76a	74.63b	5.398c	25.37d
80% UAN	91.57b	9.119c	82.57b	43.63d	11.784b	56.37b
80% UAN + AOS	92.08a	9.872c	82.98b	41.94d	13.668a	58.06b
80% UAN + Mg(OH) ₂	91.25b	11.622b	86.26ab	60.20c	7.684c	39.80c
80% UAN + aa	91.40b	5.934d	75.79c	29.45e	14.215a	70.55a

2.4 UAN 减量增效施用对小麦氮素利用效率的影响

由表 4 可知,UAN 全量或减量 20%施用的小麦氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率均显著高于 100%UN 处理,100%UAN 处理的氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率较 100%UN 处理分别显著提高 24.1%、27.1%、33.9%、31.9%;80%UAN + AOS 处理的氮素吸收效率、氮

素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率最高,分别较 100%UN 处理增加 70.4%、75.8%、49.5%、48.1%,较 80%UAN 处理增加 11.9%、13.0%、22.8%、21.4%。该结果说明,与尿素相比,同等施氮量或减氮 20%条件下,施用 UAN 均可促进小麦对氮素的吸收和利用;减量条件下,UAN 添加 AOS 使小麦氮素吸收利用效率进一步提高,而 Mg(OH)₂、aa 对氮素利用相关指标影响不大。

表 4 UAN 减量增效施用对小麦氮素利用效率的影响

处理	氮素吸收效率/(kg/kg)	氮素表观回收率/%	氮素农学利用效率/(kg/kg)	氮肥生产效率/(kg/kg)
100% UN	0.270d	24.27d	15.276c	16.192c
100% UAN	0.335c	30.85c	20.448b	21.364b
80% UAN	0.411b	37.74b	18.605b	19.750b
80% UAN + AOS	0.460a	42.66a	22.840a	23.985a
80% UAN + Mg(OH) ₂	0.381b	34.73bc	19.055b	20.200b
80% UAN + aa	0.397b	36.33b	20.220b	21.365b

3 结论与讨论

在作物优质高产诸多可控因素中,氮素是主要影响因素之一^[12-15]。当前,尿素是世界农业生产中应用最广泛、数量最多的氮肥品种,但其具有易水解、易释放损失等特点,施入土壤后除被作物吸收利用外,其余部分通过氨挥发、硝化-反硝化作用等多种途径损失,造成农业生产资料浪费的同时,也成为环境氮污染的主要来源^[3]。本研究中,同等施氮条件下,与尿素相比,施用 UAN 提高了小麦生育后期功能叶片叶绿素含量,促进了植株对氮素的吸收和利用,提高花前地上部营养体的氮素转移能力,使得穗数增加、产量提高;UAN 减量 20% 施用与尿素全量处理相比小麦不减产,总氮累积量及氮素利用效率也显著提高。李生秀等^[16]的盆栽和大田试验结果表明,单独施用 NO₃⁻ 或施用 NO₃⁻ 多 NH₄⁺ 少时,小麦生长和产量均优于单独施用 NH₄⁺,苗艳芳等^[17-18]的研究也得到了同样的结论。NO₃⁻ 既能快速扩散,也能以质流方式随植物蒸腾过程不断向根部运输,减轻与微生物的竞争;吸收后又会通过木质部较快地到达生长部位^[19]。NO₃⁻ 的这种累积和转运特点可能是其优于 NH₄⁺ 的主要原因。但也有学者研究表明,NH₄⁺ 与 NO₃⁻ 配合施用可提高光合效率,获得更高的生物量和产量,且这种促进效应开始于生育前期,并在中后期产量形成过程中得到强化,其植株氮累积量和细胞分裂素含量也显著提高^[20-22],其原因有二:一是 NH₄⁺ 主要在根部同化,而 NO₃⁻ 既会在根部也会运到地上部同化,这导致二者对碳水化合物需求量不同,两者配合也可使各部位累积的碳水化合物即碳架得到合理和高效利用,使植物以少量能耗贮存较多氮素;二是单独施用任一形态的 NH₄⁺ 或 NO₃⁻,可引起介质 pH 值改变,进而导致植物吸收阴、阳离子不平衡,两者同时施用可调节根际 pH 值,既有利于保持一些营养元素(如磷和微量元素)的有效性,也能保护土壤生态环境^[23-24]。UAN 与尿素相比主要是氮素形态的差异,UAN 含有 3 种形态氮源,而尿素仅为酰胺态氮,施入土壤后大部分在脲酶的作用下水解成 NH₄⁺,然后

被作物吸收利用。本试验所试 UAN,包含 NH₄⁺、NO₃⁻、酰胺态氮,可发挥其各自优势,这可能是 UAN 在本试验条件下提高小麦产量和氮肥利用率的主要原因。

近年来,我国肥料增值技术发展较快,一些生物刺激素具有增强营养物质吸收和利用的功能,且具有安全、环保、多功能等优势,被作为新型肥料增效剂开发应用。张朝霞等^[25]将海藻寡糖添加到尿素中施用,发现可促进小麦增产。袁亮等^[26]报道,与尿素相比,海藻酸增值尿素、腐植酸增值尿素和谷氨酸增值尿素均可提高小麦产量和氮肥利用率,降低其氮素损失。张运红等^[27]研究发现,海藻酸钠寡糖尿素不仅可提高玉米功能叶片叶绿素含量和净光合速率,还能促进玉米对氮、磷、钾的吸收,其效果优于腐植酸尿素和聚能网尿素。本研究表明,UAN 添加 AOS 或 aa 后,小麦产量均有所增加,其中添加 AOS 处理的植株总氮累积量、氮素吸收效率、氮素表观回收率、氮素农学利用效率、氮肥生产效率也显著提高,这与前人研究结果基本一致^[25-27]。张运红等^[28-29]在菜心和水稻上的研究发现,海藻酸钠寡糖可改善类囊体膜结构与功能,从而提高植物光合效率,促进光合产物的积累,本研究中,UAN 添加 AOS 后,小麦生育后期功能叶片 SPAD 值、产量均显著提高,可能与 AOS 提高光合代谢有关,但目前对于其促进作物养分吸收的作用机制还不是很清楚。纳米 Mg(OH)₂ 是一种粒径介于 80 ~ 127 nm 的新型 Mg(OH)₂,具有晶粒小、比表面积大等特点,袁婷等^[30]研究表明,低量钾配施纳米 Mg(OH)₂ 对白菜增产效果显著,还可促进植株对氮、磷、钾的吸收。本研究中,同等施氮条件下,添加纳米 Mg(OH)₂ 的小麦植株含氮量最高,但增产效果不明显,其原因还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 武际,郭熙盛,杨晓虎,等. 氮肥施用时期及基追比例对土壤矿质氮含量时空变化及小麦产量和品质的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(11):2382-2387.
[2] 郭丽,王丽英,张彦才,等. 滴灌水肥一体化下施氮量

- 对小麦氮素吸收及土壤硝态氮含量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(3): 207-213.
- [3] 刘欢, 陈苗苗, 孙志梅, 等. 氮肥调控对小麦/玉米产量、氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(1): 232-238.
- [4] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
- [5] Ju X T, Xing G X, Chen X P, *et al.* Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [6] 钟茜, 巨晓棠, 张福锁. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系对氮素环境承受力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 285-293.
- [7] 吉艳芝, 巨晓棠, 刘新宇, 等. 不同施氮量对冬小麦田氮去向和气态损失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 113-118.
- [8] 徐传银, 刘巧, 陆其通, 等. 水稻不同生育期喷施尿素硝铵溶液对产量和经济性状的影响[J]. 现代农业科技, 2015(18): 17-18, 21.
- [9] 王靖荃, 满孝印, 李海云, 等. 充足磷钾供应下大白菜产量和品质对氮素形态的响应[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2016, 29(3): 48-51.
- [10] 程学刚, 洪丕征, 陈士更, 等. 腐植酸对尿素硝铵溶液增效作用研究[J]. 腐植酸, 2017(2): 26-30.
- [11] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2014)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [12] 张运红, 孙克刚, 杜君, 等. 施氮水平对不同基因型优质小麦干物质积累、产量及氮素吸收利用的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(4): 10-16.
- [13] 杨永辉, 武继承, 潘晓莹, 等. 不同耕作保墒措施下施氮量对小麦耗水量、产量及水分生产效率的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(4): 61-65.
- [14] 文涛, 李廷亮, 曾建国, 等. 微量元素对旱地冬小麦产量及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(11): 1622-1626.
- [15] 石江荣, 任永康, 王芳. 氮素营养对超高产小麦调控的研究进展[J]. 山西农业科学, 2010, 38(3): 80-82.
- [16] 李生秀, 王朝辉. 土壤和植物的铵、硝态氮[M]//林葆. 化肥与无公害农业. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [17] 苗艳芳, 李生秀, 徐晓峰, 等. 冬小麦对铵态氮和硝态氮的响应[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 564-574.
- [18] 苗艳芳, 吕静霞, 李生秀, 等. 铵态氮肥和硝态氮肥施入时期对小麦增产的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 91-96.
- [19] Miller A J, Cramer M D. Root nitrogen acquisition and assimilation[J]. Plant and Soil, 2005, 274(1/2): 1-36.
- [20] 戴廷波, 曹卫星, 荆奇. 氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 849-852.
- [21] 孙传范, 戴廷波, 曹卫星. 不同施氮水平下增铵营养对小麦生长和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 33-38, 49.
- [22] Wang X T, Below F E. Root-growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed-nitrogen source[J]. Crop Science, 1992, 32(4): 997-1002.
- [23] Hawkesford M, Horst W, Kichry T, *et al.* Functions of macronutrient[M]//Marschner P. Marschners mineral nutrition of higher plants. Waltham: Academic Press, 2011.
- [24] Hinsinger P, Plassard C, Tang C X, *et al.* Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review[J]. Plant and Soil, 2003, 248: 43-59.
- [25] 张朝霞, 许加超, 盛泰, 等. 海藻寡糖(ADO)增效尿素对小麦的影响[J]. 农产品加工, 2014(11): 61-63, 66.
- [26] 袁亮, 赵秉强, 林治安, 等. 增值尿素对小麦产量、氮肥利用率及肥料氮在土壤剖面中分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 620-628.
- [27] 张运红, 孙克刚, 杜君, 等. 不同增效氮肥品种及用量对玉米幼苗生长、光合特性及养分吸收的影响[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(4): 32-35.
- [28] 张运红, 和爱玲, 孙克刚, 等. 海藻酸钠寡糖对菜心类囊体膜组成及特性的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(1): 129-135.
- [29] 张运红, 孙克刚, 杜君, 等. 海藻寡糖增效尿素对水稻光合特性及碳代谢产物积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 54-59.
- [30] 袁婷, 王正银, 谷守宽, 等. 低钾配施纳米氢氧化镁对白莱的营养效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 254-261.