植物营养与肥料学报 2012,18(3):579-586
Plant Nutrition and Fertilizer Science

有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究

Ⅰ. 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响

杜 伟[1,3], 赵秉强[1*], 林治安[2], 袁 亮[2], 李燕婷[1]

(1 农业部作物营养与施肥重点实验室,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081;
2 中国农业科学院德州盐碱土改良实验站,山东德州 253015; 3 清华大学环境学院,北京 100084)

摘要: 本研究采用团粒法工艺,利用味精厂制糖形成的糖渣(A)作为有机原料,与尿素复混制成有机无机复混氮肥,运用土柱栽培试验研究等尿素氮投入条件下(设置低、中、高3个施氮水平)不同有机无机比例的有机无机复混氮肥对玉米产量和养分吸收利用的影响。主要结果为,1)低氮、中氮和高氮水平下,有机无机复混氮肥处理平均玉米子粒产量比单施尿素处理的分别提高12.4%、4.8%和5.4%;低氮、中氮和高氮水平下,有机无机复混氮肥比对应的有机物料处理的增产幅度均大于尿素处理比对应的不施氮肥(CK)处理的增产幅度,有机物料与尿素复混,明显提高了尿素的增产效果。2)有机物料与化学氮肥复混具有优化化学肥料养分利用和提高化肥利用率的效果。低氮、中氮和高氮水平下,有机无机复混氮肥处理玉米植株氮素吸收量比尿素处理的分别提高29.0%、21.6%和18.9%;低氮、中氮和高氮水平下,有机无机复混氮肥处理化肥氮(尿素N)的表观利用率比尿素处理(尿素N)的氮肥表观利用率分别提高了33.5、11.6和13.0个百分点。

关键词: 有机无机复混肥; 氮肥利用率; 新型肥料; 作物产量

中图分类号: S143.6　　**文献标识码**: : A　　**文章编号**: 1008-505X(2012)03-0579-08

Effect and mechanism of organic-inorganic compound fertilization on chemical fertilizer utilization

Ⅰ. Effect of urea compounded with organic material on maize yield and fertilizer utilization

DU Wei[1,3], ZHAO Bing-qiang[1*], LIN Zhi-an[2], YUAN Liang[2], LI Yan-ting[1]

(*1 Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization/Institute of Agricultural Resource and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China; 2 Dezhou Experiment Station, CAAS, Dezhou, Shandong 253015, China; 3 School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract: In this study, an organic-inorganic compound N fertilizer was processed by combining organic waste material (from monosodium glutamate factory) with urea, and the potted plants experiments (setting up three input rates of urea-N) were carried out to investigate effects of the organic-inorganic compound N fertilizer on crop yield, nutrient uptake, nutrient use efficiency of maize under the same urea-N application rate. The results show that compared to the urea treatment, maize grain yields are increased by 12.4%, 4.8% and 5.4%, respectively under the low, medium and high N application rates. Under the same urea N application rate, the relative increases of maize grain yield of the organic-inorganic compound N fertilizer treatments to those of the corresponding organic material treatments are greater than those of the inorganic N fertilizer treatments and the no N fertilizer treatment.

收稿日期: 2011-09-19　　**接受日期**: 2011-12-13

基金项目: "十一五"国家科技支撑计划项目(2006BAD10B03);"十二五"国家科技支撑计划课题(2011BAD11B05)资助。

作者简介: 杜伟(1979—),男,山东齐河县人,博士后,主要从事资源与环境研究。Tel: 010-62784701, E-mail: weidu@mail.tsinghua.edu.cn

*通讯作者 Tel: 010-82108658, E-mail: bqzhao@163.com

The organic-inorganic N fertilization increases uptakes of nutrients. At the low, medium and high urea-N application rates, N uptakes of maize plants are increased by 29.0%, 21.6%, and 18.9% respectively under the organic-inorganic compound N fertilizer applications compared to the chemical fertilizer N treatments. The organic-inorganic N fertilizer applications increase urea-N use efficiency, and in the case of the same amount of urea N applied, the organic-inorganic compound N fertilizer applications increase N apparent recovery efficiencies by 11.6 -33.5 percent compared to the urea treatments.

Key words: organic-inorganic compound fertilizer; N fertilizer use efficiency; new type fertilizer; crop yield

尿素是速溶性肥料,施入土壤后在土壤微生物和脲酶等的作用下转化为铵态氮,铵态氮在硝化作用下进一步转化为硝态氮。施入土壤的尿素氮肥经过转化后,除被作物吸收和土壤固持外,大部分氮素通过氨挥发、硝化反硝化、径流和淋溶等途径而损失掉,当季氮肥利用率仅为30%～35%[1],不仅浪费资源和能源,也带来巨大的环境压力。

提高氮肥利用率是肥料科学研究的重要课题,通过研发与应用新型肥料来改善化肥养分的吸收利用得到了人们的广泛关注[2-4]。有机无机复混肥料是肥料产业的新秀,逐渐被产业界所重视。传统认为,发展有机无机复混肥料,一方面可消纳有机废弃物,减轻环境压力;另一方面增加土壤有机质,培肥土壤。我们的初步研究发现,有机物料与化学肥料科学复混,对尿素进行改性,影响尿素在土壤中的运移、转化和损失等过程,进而优化了化学氮肥的利用[5-8]。前人的研究结果亦表明,有机无机复混肥相比化肥具有增产作用[9-12],能够提高氮肥利用率[12-14]。过去研究有机无机复混肥对作物产量和肥料利用的影响,多是有机物料与无机氮、磷、钾等多元素进行复混,制成氮、磷、钾等多元素有机无机复混肥料,来研究肥料的增产效果和增产机理。然而将有机物料按不同比例与化学氮肥、化学磷肥和化学钾肥分开来复混,分别制成有机无机复混氮肥、有机无机复混磷肥和有机无机复混钾肥,深入系统研究有机物料与化肥复混对氮肥、磷肥和对钾肥的调控效应和机理的尚不多见。

本研究利用味精厂制糖工序中产生的糖渣为有机物料,将其与尿素氮肥复混造粒,制成有机无机复混氮肥,利用大型土柱栽培试验,研究有机物料与尿素复混对尿素氮肥吸收利用的影响,以期为通过有机无机复混来优化化学氮肥的吸收利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自中国农业科学院德州盐碱土改良实验站禹城试验基地,选择连续三年不施任何肥料的低肥力田块,取0—30 cm土壤,挑除石块、根系,过3 mm筛,充分混匀备用。土壤类型为石灰性潮土,质地为轻壤,pH(1∶1土水比浸提)8.33,有机质含量10.07 g/kg,全氮0.543 g/kg,速效磷(P_2O_5)3.58 mg/kg,速效钾(K_2O)82.7 mg/kg。

供试肥料:利用味精厂制糖工序产生的废渣(简称"糖渣",风干基,代号为A)与尿素(代号为U,含氮量46%)按重量比3∶1、1∶1和1∶3混配,利用圆盘工艺造粒分别制成代号为A_3U_1、A_1U_1和A_1U_3三种有机无机复混氮肥,试验中选择A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3和U 4种肥料。供试有机物料糖渣(A)和三种有机无机复混氮肥的养分含量见表1。

供试作物为玉米,品种为郑单958。

1.2 试验设计

试验采用土柱栽培方式,选用直径为25 cm(内径)、高100 cm PVC管,全部埋入土中,上口与地面高度一致,下不封口,与自然土壤直接接触,模拟田间自然栽培状态。按照当地耕层土壤平均容重1.365 g/cm^{3}计算,每个土柱装土57 kg。有机无机复混氮肥按等尿素氮量投入原则,设计不同施肥水平试验,尿素和有机无机复混氮肥播种前一次性施用,均匀混施于土柱0—30 cm土层中;磷、钾按充足供应原则设计,磷肥用过磷酸钙,施用量P_2O_5 180 kg/hm^2(即P_2O_5 44 mg/kg),钾肥用氯化钾,施用量K_2O 225 kg/hm^2(即K_2O 55 mg/kg),作为基肥也一次性混施入0—30 cm土壤中。

施氮水平:按照PVC土柱面积计算,设计低量尿素氮(N 105 kg/hm^2,即N 26 mg/kg)、中量尿素氮

表 1　供试肥料养分含量

Table 1　Nutrient contents of experimental fertilizers and organic materials

供试肥料 Fertilizer for experiment	代号 Code	有机质 OM (%)	全氮 Total N (%)	全磷 Total P (P_2O_5%)	全钾 Total K (K_2O%)	pH
糖渣 Sugar residue	A	95.8	4.72	0.36	0.03	3.49
有机无机复混氮肥	A_3U_1	74.6	15.1	0.27	0.02	4.40
Organic-inorganic	A_1U_1	51.0	25.0	0.18	0.01	5.25
compound N fertilizer	A_1U_3	22.7	34.5	0.10	0.00	6.10

(N 210 kg/hm^2,即 N 52 mg/kg)和高量尿素氮(N 315 kg/hm^2,即 N 78 mg/kg)3 个施肥水平。

试验处理:低量尿素氮处理包括 A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 和 U;中量尿素氮处理包括 A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 和 U;高尿素氮处理包括 A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 和 U。为了便于比较不同处理中尿素氮的真实效果,了解有机物料与尿素复混后能否优化尿素氮肥的利用,本研究设置了不同尿素氮投入水平下与各有机无机复混氮肥处理相对应的等量有机物料处理,例如 A $-A_3U_1$ 处理只投入有机物料 A,其施用量对应于 A_3U_1 处理中有机物料 A 的投入量。设置不施氮对照(只施磷、钾肥,用量与其它施肥处理相同)处理(CK)。试验共有 22 个处理,8 次重复。

1.3　玉米栽培方法

土柱按照"40 cm +80 cm"宽窄行种植、玉米株距 30 cm 方式排列。预先挖沟将 PVC 管埋入土中,上口与地面一致,下口与土地密切接触,分 4 次装入混匀、过筛的低肥力土壤,前 3 次装土至离地面 30 cm 处,每次装土后均灌等量水沉实土壤,保持容重一致。最上层 30 cm 按照试验处理将肥料均匀混于土壤后装入 PVC 管中。试验于 2009 年 5 月 19 日播种,每柱播种 5 粒玉米种子,播深 3 cm,出苗一周后间苗,最后每柱留 1 株玉米。玉米生长期间按常规栽培措施管理。2009 年 9 月 1 日玉米成熟收获测产。

1.4　数据处理与分析

供试肥料的养分表观利用率和化肥养分表观利用率以下列公式计算。

表观肥料养分利用率(%) = (施肥处理养分吸收量 - 空白对照养分吸收量)/施肥量 ×100

表观化肥养分利用率(%) = (复混肥处理养分吸收量 - 对应有机物料处理养分吸收量)/化肥施用量 ×100

使用 EXCEL 对数据进行整理,采用 SAS 软件包进行单因素分析,采用 LSD 方法对处理间差异进行多重比较,经 t 检验进行显著性分析。

2　结果与分析

2.1　有机无机复混氮肥对玉米产量的影响

表 2 中试验处理是按等尿素氮量设计的,因此有机无机复混氮肥处理的总氮投入量除包含了与化肥(U)处理等量的尿素氮外,还额外包含了有机物料中的少量氮素。因此,在等尿素氮量投入设计下,有机无机复混氮肥处理投入的总氮量稍高于化肥(U)处理的总投入氮量。由表 2 看出,等尿素氮量投入,低氮、中氮和高氮水平下的有机无机复混氮肥(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3)处理的玉米子粒产量分别比对应的化肥(U)处理增产 12.42%、4.82% 和 5.38%。

为了便于比较不同处理中尿素氮的真实效果,了解有机物料与尿素复混后能否优化尿素氮肥的利用,本研究设置了不同尿素氮投入水平下与各有机无机复混氮肥处理相对应的等量有机物料投入的处理,如 A $-A_3U_1$ 处理只投入有机物料 A,其投入量对应于 A_3U_1 处理中有机物料 A 的投入量。因此,U 处理与 CK 比较可以看出尿素氮的效果;同样 A_3U_1 与 A $-A_3U_1$ 比较可以看出有机无机复混氮肥处理中尿素的效果(理论上剔除了有机物料 A 中养分等的干扰)。由表 2 还可以看出,低量尿素氮投入水平下,U 处理与 CK 相比没有增产效果;有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒产量为 69.13 g/plant,比对应有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的 60.35 g/plant增产 14.55%,表现出有机物料与尿素复混后明显优化了化肥的增产效果。在中量尿素氮投入水平下,U 比 CK 增产 28.30%;有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒产量为 87.48 g/plant,比对应有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的 65.92 g/plant 增产

32.70%,增产幅度高于U处理与CK相比的增产幅度28.30%,也表现出有机物料与尿素复混后明显优化了化肥的增产效果。在高量尿素氮投入水平下,U处理比CK增产34.76%;有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒产量为92.38 g/plant,比对应有机物料处理(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的59.17 g/plant增产56.13%,增产幅度高于U处理与CK相比的增产幅度34.76%,有机物料与尿素复混后优化化肥的增产效果更加明显。由此可见,有机物料与尿素复混后,明显提高了尿素的增产效果,优化了化肥的利用。

由表2还可看出,A_3U_1 子粒产量在低氮、中氮和高氮三个处理水平下平均为85.36 g/plant,比A-A_3U_1 平均的61.63 g/plant提高38.50%;A_1U_1 子粒产量在低氮、中氮和高氮三个处理水平下平均84.55 g/plant,比A-A_1U_1 平均的60.12 g/plant提高40.63%;A_1U_3 子粒产量在低氮、中氮和高氮三个处理水平下平均为79.09 g/plant,比A-A_1U_3 平均的63.69 g/plant提高24.17%。上述结果似乎说明,有机无机复混氮肥中有机物料的比例高一些,其优化化学氮肥增产的效果会更好一些。不同施肥处理对生物产量的影响规律与子粒产量的基本相同。

表2 等尿素氮条件下有机无机复混氮肥对玉米单株产量的影响(g/plant)

Table 2 Effects of organic-inorganic compound N fertilizers on maize yields under the equal urea N input

氮水平 N level	植株部位 Plant part	CK	U	有机无机复混氮肥 Organic-inorganic compound N fertilizers							
				A_3U_1	A_1U_1	A_1U_3	AU	A-A_3U_1	A-A_1U_1	A-A_1U_3	A-AU
低氮	子粒 Grain	65.05 ab	61.49 ab	70.86 a	74.26 a	62.26 ab	69.13	56.12 b	61.36 ab	63.57 ab	60.35
Low N	生物量 Biomass	144.17 ab	143.00 ab	155.07 ab	163.46 a	141.20 b	153.24	135.56 b	145.96 ab	148.84 ab	143.45
中氮	子粒 Grain	65.05 b	83.46 a	89.25 a	88.60 a	84.61 a	87.49	68.76 b	62.87 b	66.14 b	65.91
Medium N	生物量 Biomass	144.17 b	175.49 a	185.77 a	180.19 a	178.47 a	181.48	157.79 b	149.8 b	151.76 b	153.12
高氮	子粒 Grain	65.05 c	87.66 b	95.96 a	90.79 ab	90.39 ab	92.38	60.02 cd	56.12 d	61.36 cd	59.17
High N	生物量 Biomass	144.17 c	174.24 b	191.34 a	183.89 ab	182.52 ab	185.92	145.71 c	135.56 c	145.96 c	142.41

注(Note):1) 有机无机复混氮肥 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中投入的化肥氮(尿素N)与化肥(尿素U)处理的相等 The chemical N fertilizer input rates in organic-inorganic compound fertilizers of A_3U_1, A_1U_1 and A_3U_1 are equal to those in urea (U) treatments. 2) A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3 代表糖渣处理,其投入量分别对应于 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中糖渣的投入量 Treatments of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3 represent sugar residue (A) and which input rate of sugar residue (A) are equal respectively to those of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3. 3) AU 为 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 的平均值,A-AU 为 A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3 的平均值 AU is the mean of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3; A-AU is the mean of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3. 4) 同行数据后不同字母表示处理间在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same row are significant between treatments at the 5% level.

2.2 有机无机复混氮肥对玉米氮素吸收利用的影响

2.2.1 有机无机复混氮肥对玉米植株氮素含量的影响 由表3看出,整体上施用氮肥提高了植株的含氮量,其中有机无机复混氮肥的效果要好于尿素化肥的效果。低量尿素氮投入水平下,U与CK相比子粒的含氮量没有提高;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒含氮量为0.774%,比对应的有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的0.739%提高了0.035个百分点。中量尿素氮投入水平下,U处理的子粒氮素含量与CK非常接近;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒含氮量为0.852%,比对应的有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的0.760%提高了0.092个百分点。高量尿素氮投入水平下,U处理子粒含氮量比CK提高0.08个百分点;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)子粒含氮量为0.916%,比对应的有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的0.739% 提高0.177个百分点,提高幅度明显高于U处理与CK的提高幅度。从表3亦看出,不同处理秸秆中的含氮量变化规律与子粒的结果基本相似。由以上结果可以看出,有机无机复混氮肥与尿素相比,具有改善作物氮素营养,提高植株含氮量的效果。

表 3　等尿素氮条件下有机无机复混氮肥对玉米子粒和秸秆氮素含量的影响(%)

Table 3　Effects of organic-inorganic compound N fertilizers on grain and straw N contents of maize under equal urea N input rate

氮水平 N level	植株部位 Plant part	CK	U	有机无机复混氮肥 Organic-inorganic compound N fertilizers							
				A_3U_1	A_1U_1	A_1U_3	AU	A-A_3U_1	A-A_1U_1	A-A_1U_3	A-AU
低氮	子粒 Grain	0.733 ab	0.654 b	0.760 a	0.782 a	0.781 a	0.774	0.725 ab	0.721 ab	0.772 a	0.739
Low N	秸秆 Straw	0.389 bc	0.369 c	0.403 bc	0.436 ab	0.483 a	0.441	0.430 ab	0.410 bc	0.471 a	0.437
中氮	子粒 Grain	0.733 c	0.737 c	0.778 bc	0.870 ab	0.909 a	0.852	0.718 c	0.731 c	0.832 abc	0.760
Medium N	秸秆 Straw	0.389 c	0.410 bc	0.484 a	0.524 a	0.470 ab	0.493	0.437 bc	0.403 c	0.444 abc	0.428
高氮	子粒 Grain	0.733 c	0.813 b	0.896 a	0.950 a	0.903 a	0.916	0.772 bc	0.725 c	0.721 c	0.739
High N	秸秆 Straw	0.389 c	0.470 b	0.471 b	0.564 a	0.497 b	0.511	0.417 c	0.430 bc	0.410 c	0.419

注(Note): 1) 有机无机复混氮肥 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中投入的化肥氮(尿素 N)与化肥(尿素 U)处理的相等 The chemical N fertilizer input rates in organic-inorganic compound fertilizers of A_3U_1, A_1U_1 and A_3U_1 are equal to those in urea (U) treatments. 2) A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3代表糖渣处理,其投入量分别对应于 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中糖渣的投入量 Treatments of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3 represent sugar residue (A) and which input rate of sugar residue (A) are equal respectively to those of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3. 3) AU 为 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 的平均值,A-AU 为 A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3 的平均值 AU is the mean of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3; A-AU is the mean of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3. 4) 同行数据后不同字母表示处理间在 5% 水平差异显著 Values followed by different letters in the same row are significant between treatments at the 5% level.

2.2.2 有机无机复混氮肥对玉米氮素吸收的影响　表 4 显示,整体上施用氮肥提高了植株的吸氮量,其中有机无机复混氮肥的效果要好于尿素化肥的效果。低量尿素氮投入水平下,U 与 CK 处理相比植株的总吸氮量没差异;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)植株吸氮量为 0.843 g/plant,比对应的有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的 0.752 g/plant 提高了 12.10%。中量尿素氮投入水平下,U 处理植株吸氮量比 CK 提高 26.40%;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)植株吸氮量 1.129 g/plant,比对应有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的 0.816 g/plant 提高了 38.36%。高量尿素氮投入水平下,U 处理植株吸氮量比 CK 提高了 42.45%;而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)植株吸氮量 1.245 g/plant,比对应有机物料处理平均(A-A_3U_1、A-A_1U_1、A-A_1U_3 平均)的 0.778 g/plant 提高了 60.06%。从表 4 亦可看出,不同处理子粒和秸秆中的氮含量与植株氮总量的规律相似。从表 4 还可看出,有机无机复混氮肥中有机物料的比例高低对作物氮素吸收的影响规律不明显。因此,有机无机复混氮肥与尿素相比,改善了氮素吸收,提高了植株的吸氮量。

2.2.3 有机无机复混氮肥对氮肥利用率的影响　U 与 CK 处理比较,可以计算出尿素氮肥的表观利用率;同样,有机无机复混氮肥与相对应的等量有机物料投入处理相比,例如 A_3U_1 与 A-A_3U_1 比较,可以计算出有机无机复混氮肥处理中尿素氮的利用率(理论上剔除了有机物料 A 中氮素的干扰)。由表5可以看出,低量尿素氮投入水平下,U 处理的尿素氮肥利用率是负值(可能是误差所致),而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)的尿素氮肥利用率为 17.67%。中量尿素氮投入水平下,U 处理的尿素氮肥利用率是 18.84%,而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)的尿素氮肥利用率为 30.41%。高量尿素氮投入水平下,U 处理的尿素氮肥利用率是 20.21%,而有机无机复混氮肥处理平均(A_3U_1、A_1U_1、A_1U_3 平均)的尿素氮肥利用率为 33.25%。有机无机复混氮肥中有机物料的比例高低对氮肥利用率的影响没有明显的规律性。以上结果说明,有机物料与尿素复混,可提高化学氮肥的利用率,优化了化肥氮的利用。

表4 等尿素氮条件下有机无机复混氮肥对单株玉米氮素吸收的影响(g/plant)

Table 4 Effects of organic-inorganic compound N fertilizers on N uptakes of maize per plant under equal urea N input rate

氮水平 N level	部位 Plant part	CK	U	有机无机复混氮肥 Organic-inorganic compound N fertilizers							
				A_3U_1	A_1U_1	A_1U_3	AU	A-A_3U_1	A-A_1U_1	A-A_1U_3	A-AU
低氮	子粒 Grain	0.477 ab	0.402 b	0.539 a	0.581 a	0.486 ab	0.535	0.407 b	0.443 ab	0.491 ab	0.447
Low N	秸秆 Straw	0.258 c	0.251 c	0.284 bc	0.323 a	0.317 ab	0.308	0.287 bc	0.292 bc	0.337 a	0.305
	总量 Total	0.735 bc	0.654 c	0.823 ab	0.903 a	0.803 ab	0.843	0.694 bc	0.735 bc	0.828 ab	0.752
中氮	子粒 Grain	0.477 c	0.615 b	0.694 ab	0.771 a	0.769 a	0.745	0.494 c	0.460 c	0.550 bc	0.501
Medium N	秸秆 Straw	0.258 d	0.314 c	0.389 ab	0.400 a	0.364 b	0.385	0.324 c	0.297 c	0.324 c	0.315
	总量 Total	0.735 d	0.929 b	1.084 a	1.171a	1.133 a	1.130	0.818 c	0.757 cd	0.874 bc	0.816
高氮	子粒 Grain	0.477 c	0.712 b	0.857 a	0.863 a	0.816 a	0.845	0.463 c	0.407 d	0.443 c	0.438
High N	秸秆 Straw	0.258 d	0.335 c	0.376 b	0.442 a	0.381 b	0.400	0.302 c	0.287 cd	0.292 cd	0.293
	总量 Total	0.735 d	1.047 c	1.233 ab	1.305 a	1.197 b	1.245	0.765 d	0.694 d	0.735 d	0.731

注(Note):1) 有机无机复混氮肥 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中投入的化肥氮(尿素 N)与化肥(尿素 U)处理的相等 The chemical N fertilizer input rates in organic-inorganic compound fertilizers of A_3U_1, A_1U_1 and A_3U_1 are equal to those in urea (U) treatments. 2) A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3代表糖渣处理,其投入量分别对应于 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 中糖渣的投入量 Treatments of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3 represent sugar residue (A) and which input rate of sugar residue (A) are equal respectively to those of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3. 3) AU 为 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 的平均值,A-AU 为 A-A_3U_1、A-A_1U_1 和 A-A_1U_3 的平均值 AU is the mean of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3; A-AU is the mean of A-A_3U_1, A-A_1U_1 and A-A_1U_3. 4)同行数据后不同字母表示处理间在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same row are significant between treatments at the 5% level.

表5 等尿素氮条件下有机无机复混氮肥对尿素氮肥利用率的影响(%)

Table 5 Effects of organic-inorganic compound N fertilizers on urea N use efficiencies of maize under equal urea N input rate

氮水平 N level	U	有机无机复混氮肥 Organic-inorganic compound N fertilizers			
		A_3U_1	A_1U_1	A_1U_3	AU
低氮 Low N	-15.81b	25.14 a	32.73 a	-4.86 b	17.67
中氮 Medium N	18.84 b	25.84 b	40.23 a	25.16 b	30.41
高氮 High N	20.21 c	30.27 b	39.57 a	29.92 b	33.25

注(Note):AU 为 A_3U_1、A_1U_1 和 A_1U_3 的平均值 AU is the mean of A_3U_1, A_1U_1 and A_1U_3. 同行数据后不同字母表示处理间在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same row are significant between treatments at the 5% level.

3 讨论

尿素是活性很强的氮肥,在土壤中容易移动,在氧化成铵态氮和由铵态氮转化为硝态氮等的过程中,容易发生气态或淋溶损失,氮肥的利用率较低[1]。从本研究的结果看,有机物料与尿素氮肥复混后,明显优化了对尿素氮肥的吸收利用,改善了作物的氮素营养状况,提高了作物产量。究其原因,一方面,有机物料与尿素复混,对尿素氮肥可能起到肥际"保护"作用,延缓了尿素氮的转化过程,减少了氨挥发损失[7]。另一方面,有机物料与尿素复混后,也在一定程度上使尿素氮具有一定的缓释性[8],有利于作物对尿素氮肥的利用。另外,有机物料对土壤性质的影响,间接影响到尿素氮肥在土壤中的转化、移动和损失过程,也有利于作物对氮肥的吸收利用[17-20]。

有机无机复混肥中,有机物料比例的高低可能也是影响肥料吸收利用的一个方面。从本研究的结果看,有机无机复混氮肥中有机质的含量超过了20%,在这种情况下,有机无机复混氮肥中有机物料

的比例高一些,其增产效果会更好一些;但本研究中有机无机复混氮肥中有机物料的比例高低对作物氮素吸收的影响规律不明显,有机无机复混氮肥中有机物料的比例高低对氮肥利用率的影响也没有表现出明显的规律性。如果有机物料的比例更低一些,差异可能更为明显,具体结果有待进一步研究。

另外,有机无机复混肥料的有机物料往往或多或少地含有某些氮、磷、钾等养分,在研究有机物料对优化化肥利用的效应时,有机物料中的养分往往具有一定的干扰作用。因此,要研究有机物料与化肥复混后对优化化肥利用的真实效应,需要设置与有机无机复混肥中等量有机物料投入的"有机物料对照"处理,如本研究中 A - A_3U_1 处理只投入有机物料 A,其投入量对应于 A_3U_1 处理中有机物料 A 的投入量。因此,化肥处理与不施肥的 CK 比较,可以看出化肥的效果;同样 A_3U_1 与 A - A_3U_1 比较可以看出有机无机复混氮肥处理中尿素的效果,这样从理论上剔除了有机物料 A 中养分的干扰。

参 考 文 献:

[1] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 288-303.
Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen in China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 288-303.

[2] 许秀成, 汤建伟, 李荫萍, 等. 全球环境压力下的增值肥料发展策略[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 5-8.
Xu X C, Tang J W, Li D P *et al*. Tactics for development of value-added fertilizers under the global environmental pressure [J]. Phos. Comp. Fert., 2008, 23(6): 5-8.

[3] 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 536-545.
Zhao B Q, Zhang F S, Liao Z W *et al*. Research on development strategies of fertilizer in China [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(5): 536-545.

[4] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F *et al*. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. Acta Pedol. Sin., 2008, 45(5): 915-924.

[5] 赵秉强, 林治安, 冀建华, 等. 有机复合肥养分高效优化技术研究[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(5): 39-42.
Zhao B Q, Lin Z A, Ji J H *et al*. Study on the optimization technology of cooperative nutrients in organic-inorganic compound fertilizer[J]. Phos. Comp. Fert., 2008, 23(5): 39-42.

[6] 赵秉强, 林治安, 刘增兵. 中国肥料产业未来发展道路—提高肥料利用率减少肥料用量[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 1-4.
Zhao B Q, Lin Z A, Liu Z B. The future developing route for China's fertilizer industry—increasing the use efficiency and decreasing the consumption of fertilizer [J]. Phos. Comp. Fert., 2008, 23(6): 1-4.

[7] 刘增兵, 赵秉强, 林治安. 腐植酸尿素氨挥发特性及影响因素研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 208-213.
Liu Z B, Zhao B Q, Lin Z A. Ammonia volatilization characteristics and related affecting factors of humic acid urea [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(1): 208-213.

[8] 刘增兵, 赵秉强, 林治安. 熔融造粒腐植酸尿素的缓释性能研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1444-1449.
Liu Z B, Zhao B Q, Lin Z A. Study on slow release property of melting granulating humic acid urea [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(6): 1444-1449.

[9] 廖宗文, 王卫红, 江东荣, 等. 有机无机复肥系统与肥效关系初探[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 1995, 16(2): 25-30.
Liao Z W, Wang W H, Jiang D R *et al*. Preliminary study on the relationship of organic-inorganic compound fertilizer system and the fertilizer effect [J]. J. South China Agric. Univ. (Nat. Sci.), 1995, 16(2): 25-30.

[10] 武丽萍, 成绍鑫. 关于腐植酸对尿素增效作用的研究与产品开发概况及发展趋势[J]. 腐植酸, 2000, (1): 1-3.
Wu L P, Cheng S X. Optimizing effect of humus acid on urea and the product development [J]. Humus Acid, 2000, (1): 1-3.

[11] 魏光禄. 谷氨酸废水制造的生物有机无机肥料农作物试验[J]. 发酵科技通讯, 2004, 33(2): 25-27.
Wei G L. Study on crops experiment of organic-inorganic compound fertilizer made from glutamic acid waste water [J]. Ferment. Technol. Commun., 2004, 33(2): 25-27.

[12] 张明祥, 童军, 胡群中. 生物有机复合肥对柑桔产量、品质和桔园土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2002, 13: 34-36.
Zhang M X, Tong J, Hu Q Z. Effect of biological organic compound fertilizer on the yield and quality of orange and the soil fertility [J]. Hubei Agric. Sci., 2002, 13: 34-36.

[13] 郎晓峰, 徐阳春, 沈其荣. 不同有机无机复混肥对土壤供氮和玉米生长的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(3): 33-38.
Lang X F, Xu Y C, Shen Q R. Effect of formation of organic-inorganic mixed fertilizers on soil N supply and growth of maize [J]. J. Ecol. Rur. Environ., 2008, 24(3): 33-38.

[14] 梁太波, 王振林, 刘兰兰, 等. 腐植酸尿素对生姜产量及氮素吸收、同化和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 903-909.
Liang T B, Wang Z L, Liu L L *et al*. Effects of humic acid urea on yield and nitrogen absorption, assimilation and quality of ginger [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(5): 903-909.

[15] 郑圣先, 刘德林, 聂军, 等. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 137-142.
Zheng S X, Liu D L, Nie J *et al*. Fate and recovery efficiency of controlled release nitrogen fertilizer in flooding paddy soil [J].

Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(2): 137-142.

[16] 闫双堆, 刘利军, 洪坚平. 腐殖酸-尿素络合物对尿素转化及氮素释放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 109-112.
Yan S D, Liu L J, Hong J P. Effect of humic acid-urea complex on urea transformation and nitrogen release[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2008, 16(1): 109-112.

[17] 赵京音, 姚政, 蒋小华. 利用农业有机废弃物提高化学氮肥利用率的研究 Ⅱ. 有机物料对尿素在土壤中转化的影响[J]. 上海农业学报,1998, 14(2): 67-72.
Zhao J Y, Yao Z, Jiang X H. Study on increasing nitrogen utilization rate of chemical N fertilizer by application of organic wastes as additives I. Effects of application of organic wastes and matter as additives on transformation of urea in soils[J]. Acta Agric. Shanghai, 1998, 14(2): 67-72.

[18] 赵京音, 姚政, 蒋小华. 利用农业有机废弃物提高化学氮肥利用率的研究 Ⅱ. 施用农业有机废弃物对化肥氮素利用率的影响[J]. 上海农业学报,1999, 15(1): 69-72.
Zhao J Y, Yao Z, Jiang X H. Study on increasing nitrogen utilization rate of chemical N fertilizer by application of organic wastes as additives II. Effects of application of organic wastes as additives on utilization rate of N from chemical fertilizer[J]. Acta Agric. Shanghai, 1999, 15(1): 69-72.

[19] 钟顺清, 王周琼, 川上敞. 草炭对土壤中尿素中氮的动态影响[J]. 干旱区研究, 2000, 17(2): 65-69.
Zhong S Q, Wang Z Q, Chuan S C. Dynamic effect of peat on nitrogen of the urea in the soil [J]. Arid Zone Res., 2000, 17(2): 65-69.

[20] 肇溥敏, 王宝申, 韩英群, 等. 腐殖酸类物质与尿素的复合效应及其对尿酶活性的抑制[J]. 土壤通报, 1993, 24 (3): 135-136.
Zhao P M, Wang B S, Han Y Q *et al*. Complex effect of humic acid and urea compounds and its inhibiting effect on urease activity [J]. Chin. J. Soil Sci., 1993, 24 (3): 135-136.