

减氮增施腐殖酸液肥对夏玉米产量和 氮肥利用率的影响

秦 文,韩燕来,张毅博,乔丹丹,李宁宁,赵家俊,邹旭瑞,李 慧*
(河南农业大学 资源与环境学院,河南 郑州 450002)

摘要: 为了保证夏玉米获得较高产量基础上尽量减少氮肥施用量,确定腐殖酸液肥与氮肥的合理配施比例,设置不施氮肥(CK)、正常施氮量(纯N,下同)210 kg/hm²(100%N)、减施20%氮肥即施N 168 kg/hm²(80%N)、减施20%氮肥即施N 168 kg/hm²+腐殖酸液肥1.7 L/hm²(80%N+WF)、减施40%氮肥即施N 126 kg/hm²(60%N)、减施40%氮肥即施N 126 kg/hm²+腐殖酸液肥1.7 L/hm²(60%N+WF)6个处理,研究减氮增施腐殖酸液肥对夏玉米产量和氮肥利用率的影响。结果表明,与100%N处理相比,80%N+WF处理土壤有机质含量、碱解氮含量、pH值、氮肥回收效率、氮肥生理效率均无显著变化,而氮肥农学效率显著提高9.8%,最终使夏玉米穗粒数、百粒质量及产量与100%N处理接近;但进一步减少氮肥施用量增施腐殖酸液肥(60%N+WF)处理会降低土壤碱解氮和有机质含量,差异均不显著,但较80%N+WF处理降幅增大,虽然也能提高氮肥农学效率和氮肥回收效率,但最终较100%N处理显著降低夏玉米穗粒数(2.7%)和产量(5.2%)。综上,80%N+WF处理在减施氮42 kg/hm²的情况下能达到100%N处理的效果,土壤肥力较高,氮肥农学效率和氮肥回收效率提高,且穗粒数和产量较高。

关键词: 腐殖酸液肥;夏玉米;产量;氮肥利用率
中图分类号: S513;S157.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2017)04-0021-05

Effects of Reducing Nitrogen Fertilizer and Increasing Humic Acid Liquid Fertilizer on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Summer Maize

QIN Wen,HAN Yanlai,ZHANG Yibo,QIAO Dandan,LI Ningning,
ZHAO Jiajun,ZOU Xurui,LI Hui*
(College of Resources and Environment,Henan Agricultural University,Zhengzhou 450002,China)

Abstract: In order to minimize the amount of nitrogen fertilizer under the premise of ensuring a higher yield of summer maize,and determine the reasonable proportion of humic acid liquid fertilizer and nitrogen fertilizer,the field experiments were carried out with 6 treatments:no fertilizer(CK),the normal application amount of nitrogen (210 kg/ha,100%N),reducing 20% application amount of nitrogen fertilizer (168 kg/ha,80%N),reducing 20% application amount of nitrogen(168 kg/ha) with humic acid liquid fertilizer 1.7 L/hm² (80%N+WF),reducing 40% nitrogen application amount(126 kg/ha,60%N),reducing 40% nitrogen application amount(126 kg/ha) with humic acid liquid fertilizer 1.7 L/ha (60%N+WF),and the effects of reducing nitrogen fertilizer and increasing humic acid liquid fertilizer

收稿日期:2016-10-12
基金项目:中科院科技服务网络计划(STS)项目(KFJ-EW-ST5-055-1);河南省高等学校重点科研项目(17A210021);河南省科技攻关项目(142102110049)
作者简介:秦 文(1994-),女,安徽芜湖人,在读硕士研究生,研究方向:植物营养与高效施肥。
E-mail:qinwen1275@163.com
* 通讯作者:李 慧(1981-),女,河南濮阳人,副教授,博士,主要从事作物营养生理方面的研究。
E-mail:lihui4007@163.com

on yield and nitrogen use efficiency of summer maize were studied. The results showed that compared with 100% N treatment, there was no significant change in soil organic matter, alkali-hydrolyzable N contents, pH value, nitrogen recovery efficiency and nitrogen fertilizer physiological efficiency; while the agronomic efficiency of nitrogen fertilizer was significantly increased by 9.8%, which eventually caused the result that the grain number per spike, grain weight and yield of summer maize were close to 100% N treatment. However, further reducing the amount of nitrogen fertilizer and increasing the amount of humic acid liquid fertilizer (60% N + WF) would reduce soil alkaline nitrogen and organic matter contents with no significant difference, but the descent scope was bigger than that of 80% N + WF treatment; although the agronomic efficiency of nitrogen fertilizer and the recovery efficiency of nitrogen fertilizer of 60% N + WF treatment could also improved, the grain number per spike and the yield of summer maize significantly decreased by 2.7% and 5.2% compared with 100% N treatment. In conclusion, 80% N + WF treatment could achieve the effect of 100% N treatment under the condition of reducing N application by 42 kg/ha, and obtain higher soil fertility, agronomic efficiency and recovery efficiency of nitrogen fertilizer, grain number per spike and yield.

Key words: humic acid liquid fertilizer; summer maize; yield; nitrogen use efficiency

玉米是重要的多用途作物之一,广泛应用于粮食、化工、饲料、生物能源等领域,已成为我国种植面积及总产量最高的农作物^[1]。但是,目前玉米的高产都是在肥料高投入的条件下获得的,尤其是氮肥,其投入量最高^[2-3],但利用率低。研究显示,若不实施相应的减氮措施,未来我国氮肥的施用总量及单位播种面积施用量将有可能继续增长^[4]。而氮肥的过量投入不仅导致农业生产成本增加,投入与产出比降低^[5],而且对环境造成不可估量的危害,这已逐渐成为影响农业可持续发展、粮食安全及人类健康的重大问题^[6]。因此,减少氮肥施用量势在必行。

研究表明,腐殖酸液肥与化肥配施,可提高氮肥的利用效率,减少氮肥的施用量^[7]。且我国腐殖酸肥料的制备原料(泥炭、褐煤和风化煤)储量丰富^[8];腐殖酸肥料具有改良土壤、促进土壤团粒结构形成、增加土壤中微生物数量^[9]、提高土壤保水保肥性能^[10]、吸附钝化土壤重金属^[11]、提高土壤供肥能力、促进作物养分吸收^[12]等诸多功能。可见,将腐殖酸液肥与氮肥配合施用是减少氮肥施用量的一个有效措施。目前,有关腐殖酸提高氮肥利用率、促进作物生长的研究很多^[12-14],但是通过施用腐殖酸液肥在保证作物产量的前提下减少氮肥施用量的研究还未见报道。为此,探讨了腐殖酸液肥与不同氮肥配施对夏玉米产量和氮肥利用率的影响,以期确定减氮不减产的腐殖酸液肥与氮肥的合理配施比例。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省方城县赵河镇现代农业示范

园区内,该区属亚热带大陆性季风气候。供试土壤为黄褐土,壤质。试验地 0~20 cm 土壤养分基本状况为:有机质 15.32 g/kg、碱解氮 117.86 mg/kg、有效磷 41.68 mg/kg、速效钾 81.30 mg/kg, pH 值 5.82;土壤容重为 1.34 g/cm³。试验地种植方式为小麦—玉米轮作。

1.2 试验材料

供试夏玉米品种为农华 101。供试肥料为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 57%)和腐殖酸液肥(含腐殖酸 30 g/L、N + P₂O₅ + K₂O 200 g/L)。

1.3 试验设计

采用田间小区试验,共设 6 个处理:不施氮肥(CK)、正常施氮量(纯 N,下同)210 kg/hm²(100% N)、减施 20% 氮肥即施 N 168 kg/hm²(80% N)、减施 20% 氮肥即施 N 168 kg/hm² + 腐殖酸液肥 1.7 L/hm²(80% N + WF)、减施 40% 氮肥即施 N 126 kg/hm²(60% N)、减施 40% 氮肥即施 N 126 kg/hm² + 腐殖酸液肥 1.7 L/hm²(60% N + WF),详见表 1。每个处理重复 3 次,共 18 个小区,小区面积为 4 m × 10 m,采用随机区组排列。其中,氮肥分 2 次施入,即拔节期施用 50%,大喇叭口期追施 50%,所有处理均在拔节期施 P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²,施肥方式均为开沟条施;腐殖酸液肥拔节期施用 1.2 L/hm²,大喇叭口期施用 0.5 L/hm²,并与化肥掺混后随之一起施入土壤。生育过程中其他管理同高产田。2015 年 6 月播种,种植密度为 60 000 株/hm²,10 月收获。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 地上部植株全氮含量 在成熟期,每个小区

| 表 1 不同施肥处理的施肥量 | | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| 处理 | 施肥类型 | 腐殖酸液肥/ (L/hm ²) | 养分投入量/(kg/hm ²) | | | 较正常施氮量减少的 N 量/(kg/hm ²) |
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| CK | 不施氮肥 | 0 | 0 | 75 | 90 | 210 |
| 100% N | 施正常氮肥量 | 0 | 210 | 75 | 90 | 0 |
| 80% N | 减施 20% 氮肥 | 0 | 168 | 75 | 90 | 42 |
| 80% N + WF | 减施 20% 氮肥 + 腐殖酸液肥 | 1.7 | 168 | 75 | 90 | 42 |
| 60% N | 减施 40% 氮肥 | 0 | 126 | 75 | 90 | 84 |
| 60% N + WF | 减施 40% 氮肥 + 腐殖酸液肥 | 1.7 | 126 | 75 | 90 | 84 |

取长势均匀具有代表性的玉米 5 株,取其地上部分,105 ℃ 杀青,65 ℃ 烘干至恒质量,测定干物质质量,然后将样品粉碎,使用 H₂SO₄ - H₂O₂ 消化,采用全自动定氮仪测全氮含量,并计算氮肥回收效率。

氮肥回收效率 = (施氮区地上部氮积累量 - 对照区地上部氮积累量)/施氮量 × 100%^[15]。

1.4.2 产量及其构成因素 在成熟期,各小区收获 20 株玉米经自然风干后测定穗粒数、百粒质量,并测产。然后计算氮肥生理效率、氮肥农学效率。

氮肥生理效率 = (施氮区产量 - 对照区产量)/(施氮区地上部氮积累量 - 对照区地上部氮积累量),

氮肥农学效率 = (施氮区玉米产量 - 对照区玉米产量)/施氮量^[15]。

1.4.3 土壤养分含量 在成熟期,采用五点取样法取 0 ~ 20 cm 耕层土壤,剔除石砾和植物残根等杂物后混合,测定土壤养分含量。其中,有机质含量采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提—火焰光度法测定^[16]。

1.5 数据统计分析

数据用 Excel 2010 和 SPSS 20 软件进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 减氮增施腐殖酸液肥对夏玉米产量及其构成因素的影响

由表 2 可知,各处理间夏玉米百粒质量差异均不显著,但穗粒数和产量差异较大。与 CK 相比,施加氮肥显著增加了夏玉米的穗粒数。与 100% N 处理相比,80% N、60% N 和 60% N + WF 处理穗粒数分别显著下降 4.4%、5.8%、2.7%,而 80% N + WF 处理穗粒数无显著变化。与 80% N、60% N 处理相比,减施氮肥后施腐殖酸液肥均使夏玉米穗粒数显著提高,分别提高4.0%、3.3%。综上,减施 20% 氮肥后施腐殖酸液肥可以达到 100% N 处理的效果,穗粒数、百粒质量均无显著变化。

与 CK 相比,施用氮肥显著提高了夏玉米产量。

与 100% N 处理相比,60% N 处理玉米产量显著降低 7.3%,60% N + WF 处理玉米产量显著降低 5.2%;但 80% N 和 80% N + WF 处理产量与之差异均不显著。与 80% N、60% N 处理相比,减施氮肥后施腐殖酸液肥均使夏玉米产量有所提高,分别提高 2.0%、2.2%,但差异均不显著。综上,减施 20% 氮肥后施腐殖酸液肥可以达到 100% N 处理的效果,产量无显著变化。

| 表 2 不同施肥处理的产量及其构成因素 | | | |
|---------------------|--------------------------|-------|--------|
| 处理 | 产量/(kg/hm ²) | 穗粒数 | 百粒质量/g |
| CK | 7 820d | 477e | 33.2a |
| 100% N | 9 603a | 521a | 33.6a |
| 80% N | 9 217abc | 498cd | 34.3a |
| 80% N + WF | 9 402ab | 518ab | 33.3a |
| 60% N | 8 904c | 491d | 34.0a |
| 60% N + WF | 9 101bc | 507bc | 33.5a |

注:同列数据后不同小写字母代表处理间差异显著(P < 0.05),下同。

2.2 减氮增施腐殖酸液肥对夏玉米氮肥利用率的影响

由表 3 可知,不同施肥处理间夏玉米的氮肥生理效率差异均不显著,氮肥农学效率和氮肥回收效率差异较大。对于氮肥农学效率而言,60% N + WF 处理夏玉米的氮肥农学效率最高,显著高于其他处理,较 100% N 处理提高 26.0%;其次为 80% N + WF 处理,显著高于 100% N、80% N、60% N 处理,增幅分别为 9.8%、14.8%、8.4%;100% N、80% N 和 60% N 处理间氮肥农学效率差异均不显著。与 80% N、60% N 处理相比,减氮增施腐殖酸液肥均使氮肥农学效率显著增加,分别增加 14.8%、24.4%。

对于氮肥回收效率而言,60% N + WF 处理氮肥回收效率最高,较 100% N 处理显著提高 32.0%;其次为 80% N + WF 处理,较 100% N 处理提高 20.4%,但差异不显著。与 80% N、60% N 处理相比,减氮增施腐殖酸液肥处理的氮肥回收效率均有所增加,增幅分别为 17.3%、12.5%,但差异均不显著。

综上,夏玉米的氮肥农学效率和氮肥回收效率

均以 60% N + WF 处理最高,80% N + WF 次之,两者均明显高于 100% N 处理。

表 3 不同施肥处理的氮肥利用情况

| 处理 | 氮肥农学效率/ (kg/kg) | 氮肥回收效率/ % | 氮肥生理效率/ (kg/kg) |
|------------|---------------------|--------------|---------------------|
| 100% N | 8.49c | 22.5b | 36.2a |
| 80% N | 8.12c | 23.1b | 35.2a |
| 80% N + WF | 9.32b | 27.1ab | 34.9a |
| 60% N | 8.60c | 26.4ab | 33.9a |
| 60% N + WF | 10.70a | 29.7a | 34.0a |

2.3 减氮增施腐殖酸液肥对土壤理化性质的影响

由表 4 可知,与 CK 相比,施氮肥能显著提高土壤有机质和碱解氮含量,降低土壤 pH 值。与 100% N 处理相比,减氮及减氮增施腐殖酸液肥处理土壤有机质含量稍有降低、pH 值稍微升高,但差异均不显著。其中,有机质含量表现为 100% N 处理最高,80% N + WF 处理次之,二者十分相近;pH 值表现为 60% N + WF 处理最高,80% N + WF 处理次之,其较 100% N 处理分别提高 3.8% 和 3.4%。与 100% N 处理相比,60% N 处理土壤碱解氮含量显著降低,其他减氮及减氮增施腐殖酸液肥处理与之差异均不显著。碱解氮含量表现为 100% N 处理最高,80% N + WF 处理次之,二者十分相近。与 80% N、60% N 处理相比,减氮增施腐殖酸液肥处理的土壤有机质含量有所增加,增幅分别为 2.1%、1.7%,但差异均不显著;碱解氮含量显著增加,增幅分别为 3.8%、5.9%。

综上,减施 20%、40% 氮肥后增施腐殖酸液肥可以达到 100% N 处理的效果,总体以 80% N + WF 处理效果最好。

表 4 不同施肥处理的土壤理化性质

| 处理 | 有机质/(g/kg) | 碱解氮/(mg/kg) | pH |
|------------|-------------|--------------|--------|
| CK | 15.25b | 108.4c | 5.84a |
| 100% N | 16.31a | 128.2a | 5.53b |
| 80% N | 15.94ab | 123.4a | 5.68ab |
| 80% N + WF | 16.28a | 128.1a | 5.72ab |
| 60% N | 15.64ab | 114.8b | 5.66ab |
| 60% N + WF | 15.90ab | 121.6a | 5.74ab |

3 结论与讨论

合理施用氮肥能显著提高玉米的籽粒产量,过低的施氮量会造成玉米顶部籽粒发育不完善从而影响产量;而施用腐殖酸液肥可提高土壤的供肥能力、促进作物对养分的吸收,且腐殖酸液肥与化肥配合施用,可抑制尿素的水解,达到缓释的效果,减少氮肥的损失,提高氮肥的利用效率,从而增加作物产

量^[13-14]。氮肥利用率可通过氮肥农学效率、氮肥回收效率和氮肥生理效率等指标反映。氮肥农学效率反映了单位施氮量对作物籽粒产量的增加效应^[17];氮肥回收效率反映了作物吸收利用的氮占施氮量的比例,较高的氮肥回收效率说明在作物生长过程中损失的氮肥量较少,对环境的危害较小^[18];氮肥生理效率是指作物地上部吸收单位氮量所获得的籽粒产量的增加量^[19]。本研究结果表明,与 100% N 处理相比,减施 20% 氮肥后增施腐殖酸液肥(80% N + WF)处理的土壤有机质含量、碱解氮含量、pH 值、氮肥回收效率、氮肥生理效率均无显著变化,而氮肥农学效率显著提高 9.8%,最终使夏玉米穗粒数、百粒质量及产量与 100% N 处理接近,均无显著差异,即 80% N + WF 处理可以达到 100% N 处理的效果;但进一步减少氮肥施用量(减少 40% N)增施腐殖酸液肥会降低土壤碱解氮和有机质含量,差异均不显著,但较 80% N + WF 处理降幅增大,虽然也能提高氮肥农学效率和氮肥回收效率,但最终显著降低夏玉米穗粒数和产量。

综上,减施 20% 氮肥后增施腐殖酸液肥(80% N + WF)处理能达到 100% N 处理的效果,土壤肥力较高,氮肥农学效率和氮肥回收效率提高,且夏玉米穗粒数和产量较高。即此处理可在保证夏玉米具有较高产量的情况下减施氮 42 kg/hm²。

参考文献:

[1] 中国统计局. 中国统计年鉴 2014[M]. 北京:中国统计出版社,2015.

[2] 齐文增,陈晓璐,刘鹏,等. 超高产夏玉米干物质与氮、磷、钾养分积累与分配特点[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(1):26-36.

[3] 王宜伦,刘天学,赵鹏,等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(12):2483-2491.

[4] 栾江,仇焕广,井月,等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报,2013,28(11):1869-1878.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 袁丽峰,黄腾跃,王改玲,等. 腐殖酸及腐殖酸有机肥对玉米养分吸收及肥料利用率的影响[J]. 中国农学报,2014,30(36):98-102.

- [8] 茹铁军,王家盛. 腐植酸与腐植酸肥料的发展[J]. 磷肥与复肥,2007,22(4):51-53.
- [9] 叶协锋,凌爱芬,张斌,等. 腐殖酸对烤烟土壤性状及烟叶品质的影响[J]. 华北农学报,2009,24(5):170-173.
- [10] 刘伟,刘景辉,萨如拉,等. 腐殖酸水溶肥料对水分胁迫下小麦光合特性及产量的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(3):196-200.
- [11] 李奔,谢文娟,胡敏予. 施用复合肥和腐植酸液肥对苋菜重金属富集与转运的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(9):105-111.
- [12] 陈振德,何金明,李祥云,等. 施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1):52-54.
- [13] 常会庆,李兆君. 腐植酸尿素与复合微生物菌剂配施对番茄产量和品质的影响[J]. 河南农业科学,2016,45(4):113-116.
- [14] 郝青,梁亚勤,刘二保. 腐植酸复混肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 山西农业科学,2012,40(8):853-856.
- [15] 卢艳丽,陆卫平,刘小兵,等. 糯玉米氮肥利用效率的基因型差异[J]. 作物学报,2006,32(7):1031-1037.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:30-110.
- [17] 张翔,毛家伟,李彰,等. 氮用量及基追比例对烟叶产量、品质及氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(6):1518-1523.
- [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):494-500.
- [19] 叶全宝,张洪程,魏海燕,等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报,2005,31(11):1422-1428.

(上接第20页)

- [11] 李淦,胡铁柱,王新李,等. 行距配比和播期对优质强筋小麦产量与品质的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2006,34(4):20-22.
- [12] 祝小龙,董召荣. 不同行距和氮肥追基比例对烟农19品质的影响[J]. 安徽农学通报,2009,15(23):42,55-56.
- [13] 郭明明,赵广才,郭文善,等. 施氮量与行距对冬小麦品质性状的调控效应[J]. 中国生态农业学报,2015,23(6):668-675.
- [14] 吕凤荣,赵淑章,杨胜利,等. 行距配置对小麦产量的影响[J]. 河南农业科学,2000(8):10-11.
- [15] 张保军,由海霞,海江波. 种植方式对小麦产量及品质影响的研究[J]. 陕西农业科学,2002(4):1-2.
- [16] 朱统泉,赵立尚,贺建锋,等. 不同行距对小麦群体质量及产量的调节效应[J]. 陕西农业科学,2006(4):8-10.
- [17] 刘强,李佳佳,田建珍. 面粉品质参数对面制品品质的影响[J]. 包装与食品机械,2011,29(6):50-54.
- [18] 李歆,凌家煜,郝希成. 粉质质量指数与其他粉质指标间相互关系的研究[J]. 粮油食品科技,2003,11(1):8-10.
- [19] 戴忠民,范业泉,吴儒刚,等. 种植密度对小麦籽粒HMW-GS含量及GMP粒度分布的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(5):952-956.
- [20] 张翼,高素玲,张根峰. 不同播期对沿黄稻区强筋型小麦产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(27):29-32.
- [21] 李东森,郑学玲,曹维让,等. 小麦各系统面粉面筋及破损淀粉含量与面团吸水率的关系[J]. 现代面粉工业,2011,25(3):36-40.
- [22] 郭盈文,于立河,郭伟. 行距与肥密配置对春小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2008,25(5):873-876.
- [23] 刘建,魏亚凤,杨美英,等. 小麦层带式高效施肥方法:201310228919.1[P]. 2013-09-25.
- [24] 孟维伟,王东,于振文. 施氮量对小麦氮代谢相关酶活性和子粒蛋白质品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(1):10-17.
- [25] 田中伟. 小麦产量和氮素吸收利用特性的改良特征及生理基础[D]. 南京:南京农业大学,2012.