DOI: 10.3969/j.issn.0488-5368.2025.10.005

冬麦肥料深施对麦玉轮作体系中青贮玉米的影响

卢相义,滕 霄,冯珺珩,牛翠云,薛 文,肖 宇

(沧州农林科学院,河北 沧州 061000)

摘 要:为了探索小麦-玉米轮作体系中冬季小麦深施肥料处理对玉米季青贮玉米氮肥利用、产量及品质的影响。试验于2024年在沧州市西花园试验基地开展,以迪卡688为试验材料,设置小麦季不施肥(CK)、一次性基施肥(CF)、基施肥加追肥(CFZ)、基施肥加深施肥料(CFS)4种施肥方式,玉米季正常施肥。分析青贮玉米生物产量、品质、干物质积累量、不同器官重量、植物氮含量。结果表明:肥料深施(CFS)处理青贮玉米产量较CK组增加18.03%,差异显著高于($P<0.05$)不施肥处理(CK)。其他处理与对照组差异不显著($P>0.05$)。肥料深施处理(CFS)青贮玉米粗蛋白含量较CK处理差异显著($P<0.05$),较对照组CK处理提高5.41%。肥料深施(CFS)处理青贮玉米淀粉含量较CK处理差异显著($P<0.05$),较对照组CK处理提高4.64%。肥料深施(CFS)处理在9月1日、9月21日和10月3日三个时期青贮玉米干物质积累量较对照组CK提高差异显著($P<0.05$)。肥料深施(CFS)处理在8月21日、9月1日、9月11日、9月21日和10月3日时期的穗轴,9月11日、9月21日时期的叶片,10月3日时期的茎秆几个方面较对照组CK处理差异显著($P<0.05$)。肥料深施(CFS)处理各生育期氮积累量显著高于对照组,差异显著($P<0.05$)。试验结果表明小麦季肥料深施能够提高麦玉轮作中青贮玉米的产量和品质。

关键词:肥料深施;青贮玉米;氮肥利用;产量;品质

中图分类号:S513 **文献标识码**:A **文章编号**:0488-5368(2025)10-0026-04

Effects of Deep Application of Winter Wheat Fertilizer on Silage Maize in Wheat-maize Rotation System

LU Xiangyi, TENG Xiao, FENG Junheng, NIU Cuiyun, XUE Wen, XIAO Yu

(*Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Sciences*, *Cangzhou*, *Hebei* 061001, *China*)

Abstract: To investigate the effects of deep fertilizer application in winter wheat on nitrogen use efficiency, as well as on the yield and quality of silage maize in a wheat - maize rotation system, a field experiment was conducted in 2024 at the Xiyuan Experimental Base in Cangzhou City. Using ´Dika 688´ as the experimental material, four fertilization treatments were applied during the wheat season: no fertilization (CK), one-time basal fertilization (CF), basal fertilization plus topdressing (CFZ), and basal fertilization with supplemental fertilization (CFS). All plots received standard fertilization during the maize season. Parameters analyzed included biological yield, quality traits, dry matter accumulation, organ weight, and plant nitrogen content in silage maize. The results showed that the silage maize yield under the CFS treatment increased by 18.03% compared to CK, with a statistically significant difference ($P< 0.05$). No significant differences were observed for CF and CFZ compared to CK ($P > 0.05$). The crude protein content under CFS was significantly higher than CK ($P< 0.05$), with an increase of 5.41%. Similarly, starch content under CFS was 4.64% higher than CK ($P< 0.05$). Dry matter accumulation at the 9.1, 9.21, and 10.3 growth stages was significantly higher under CFS than CK ($P< 0.05$). Significant differences in dry matter accumulation were also observed in the cob (8.21,

收稿日期:2024-12-06 **修回日期**:2025-02-18

基金项目:河北省21省奖后补助 华北地下水超采区旱作关键技术与模式构建及应用(无编号);河北省现代农业产业技术体系饲草创新团队(HBCT2023160205)。

第一作者简介:卢相义(1986-),硕士,研究方向为大田作物栽培与利用。

通信作者:肖 宇。

9.1, 9.11, 9.21, 10.3), leaves (9.11, 9.21), and stalk (10.3) between CFS and CK ($P<0.05$). Nitrogen accumulation under CFS was significantly higher than CK at all growth stages ($P<0.05$). These findings demonstrate that deep application of fertilizer during the wheat season can improve both the yield and nutritional quality of silage maize in a wheat - maize rotation system.

Key words: Deep application of fertilizer; Silage maize; Nitrogen fertilizer utilization; Yield; Quality

环渤海地区春季低温低,雨水少,容易造成青贮玉米出现出苗不齐、长势弱、产量低等现象[1]。青贮玉米对氮素敏感,合理范围内的氮素能够提高青贮玉米产量,过量后容易造成减产[2]。传统耕种方式中为了提高产量而加大氮肥投入,这种做法的后果就是一方面增加种植成本;另一方面氮肥利用效率降低,导致土壤氮素过量,引起严重的环境污染问题[3]。因此,优化施肥方式,提高肥料利用效率成为当前研究的重要课题。

常见施肥方式是播种时采取机械一次性浅层施肥(5~10 cm),容易造成氮素挥发,肥土混合不均匀,根系较浅,肥料不易利用等问题[4]。氮肥适量深施(20~40 cm)能够促进根系深长,提高肥料利用效率。通过同位素示踪法[5]研究发现氮素深施能够提高玉米氮素利用量和产量。肥料深施能够提高小麦光合作用,增强抗干旱能力[6]。

淮海地区小麦季深耕能够增加下季玉米产量[7]。一次性深施肥料能够增加下季作物肥料利用效率,减少氨挥发[8]。当前关于肥料深施对下季作物生长影响的研究较少,本研究通过研究小麦季常规施肥和肥料深施对小麦-玉米轮作体系中青贮玉米生长的影响,为探索适宜环渤海地区适宜的施肥措施和作物高产稳产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2024年在河北省沧州市农林科学院西花园试验站(116°85′ E,38°39′ N)进行,海拔13 m,试验地土壤为中壤土,2023年耕层(0~20 cm)土壤主要理化性状:pH 7.58,有机质含量9.60 g/kg,全盐含量0.34%,全氮含量0.21 g/kg,碱解氮含量81.14 mg/kg,全磷含量0.31 g/kg,速效磷含量2.02 g/kg,全钾含量8.56 g/kg,速效钾含量184.25 mg/kg。试验年度气候条件见图1。

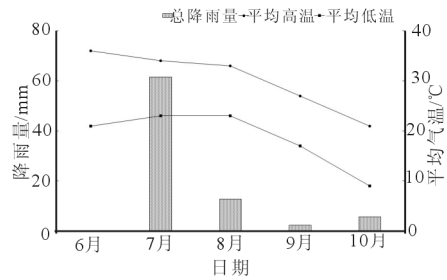

图1 玉米生长季的平均气温和降雨量

1.2 试验设计

供试材料为迪卡688。小麦季施肥方式见表1,每个处理重复3次,小区随机分布。小区面积10 m*10 m。株距22 cm,行距60 cm,种植密度75 000株/hm^2,青贮玉米季一次性施肥($N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$)700 kg/hm^2。2024年6月20日播种,10月3日收获。其他管理方式同当地田间管理。

表1 小麦季不同处理施肥方案

处理	施肥方案
CF	播种时一次性基施(氮肥13.4 kg/667 m^2、磷肥9.2 kg/667 m^2、钾肥2.8 kg/667 m^2)
CFZ	播种时基施(氮肥7.6 kg/667 m^2、磷肥9.2 kg/667 m^2、钾肥2.8kg/667 m^2)+返青后追施尿素(12.5 kg/667 m^2)
CFS	播种时一次性基施(氮肥7.6 kg/667 m^2、磷肥9.2 kg/667 m^2、钾肥2.8 kg/667 m^2)开沟30 cm施尿素(12.5 kg/667 m^2)
CK	不施肥

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生物产量测定 青贮玉米蜡熟期时,进行测产。小区选取10 m^2(2 m×5 m)收割,测量鲜重,换算成单位产量。

1.3.2 青贮玉米品质测定 青贮玉米蜡熟期,各小区取2株代表性的样品放入烘干箱中,105 ℃杀青,80 ℃烘干,粉碎,采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,淀粉含量采用酶水解法测定。

1.3.3 干物质积累量测定 在8月21日(吐丝期)、9月1日、9月11日、9月21日、10月3日(成熟期),每个小区选取2株长势均匀的玉米,取地上部,按照茎秆、叶片、穗轴器官分开,至于烘箱内,105℃杀青,80℃烘至恒重,测定样品干物质量。

1.3.4 植物氮含量测定 青贮玉米进入大喇叭口期、吐丝期和收获期,每个小区选取2株有代表性的植株,样品105 ℃杀青,80 ℃烘干,粉碎并过0.5

mm 筛后采用凯氏定氮法测定植株全氮含量[2]

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2010 进行数据处理、作图，采用 SPSS 21.0 软件，Duncan 法进行差异显著性检验（$P<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 青贮玉米产量

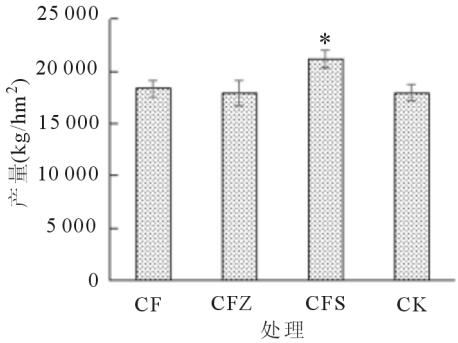

图 2 不同处理青贮玉米产量

由图 2 可知，肥料深施（CFS）处理青贮玉米产量较 CK 组增加 18.03%，差异显著高于（$P<0.05$）不施肥处理（CK）。一次基施（CF）和基施加追肥（CFZ）处理青贮玉米产量与对照组（CK）相比差异不显著（$P>0.05$）。结果表明，小麦季肥料深施较其他处理能够显著提高青贮玉米产量。

2.2 青贮玉米品质

由图 3 可知，肥料深施处理（CFS）青贮玉米粗蛋白含量与 CK 处理差异显著（$P<0.05$），较对照组 CK 处理提高 5.41%；肥料深施（CFS）处理青贮玉米淀粉含量与 CK 处理差异显著（$P<0.05$），较对照组 CK 处理提高 4.64%。结果表明，小麦季肥料深施能够显著提高青贮玉米品质。

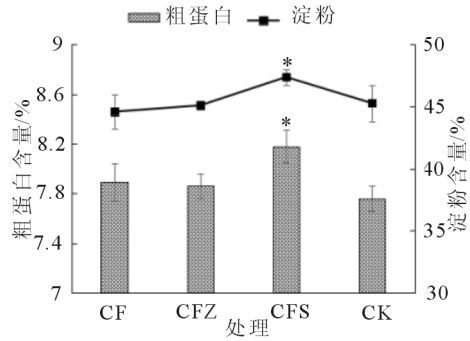

图 3 不同处理粗蛋白、淀粉含量

2.3 干物质积累量

由图 4 可知，肥料深施（CFS）处理在 9 月 1 日、9 月 21 日和 10 月 3 日三个时期青贮玉米干物质积累量与对照组 CK 提高差异显著（$P<0.05$），分别提高 12.33%、13.57 和 14.90。一次基施（CF）和基施加追肥（CFZ）处理青贮玉米产量与对照组（CK）相比差异不显著（$P>0.05$）。结果表明，小麦季肥料深施在一定时期内能够提高青贮玉米的干物质积累量。

进一步分析青贮玉米不同器官的干物质含量（图 5）可知，肥料深施（CFS）处理在 8 月 21 日、9 月 1 日、9 月 11 日、9 月 21 日和 10 月 3 日时期的穗轴，9 月 11 日、9 月 21 日时期的叶片，10.3 时期的茎秆几个方面较对照组 CK 处理差异显著（$P<0.05$）。一次基施（CF）和基施加追肥（CFZ）处理青贮玉米干物质积累与对照组（CK）相比差异不显著（$P>0.05$）。结果表明，小麦季肥料深施能够提高不同时期的穗轴和叶片的干物质积累。

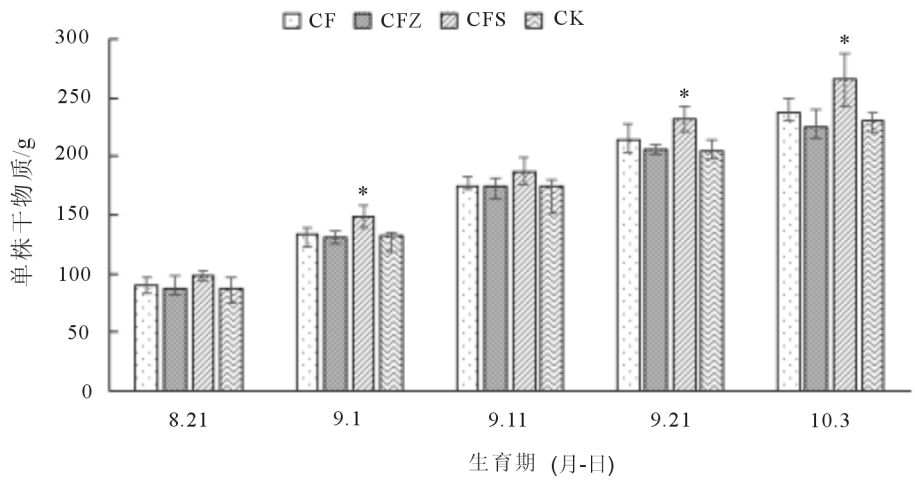

图 4 不同处理单株干物质重变化

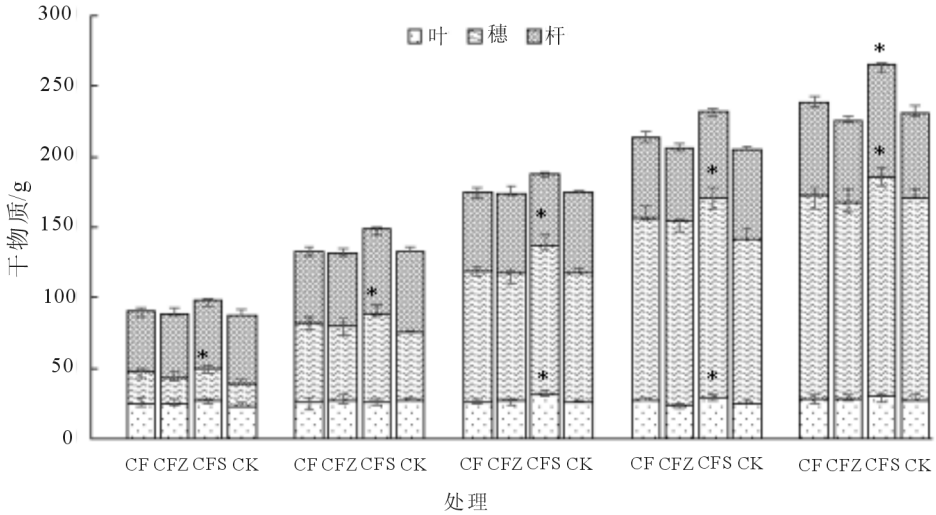

图 5 不同时期各器官干重

2.4 不同生育期单株氮积累量

由表 2 可知,肥料深施(CFS)处理各生育期氮积累量显著高于对照组,差异显著($P<0.05$),大喇叭口期、吐丝期、成熟期分别提高 25.81%、10.53%和 10.44%。一次基施(CF)和基施加追肥(CFZ)处理青贮玉米不同时期氮积累量与对照组(CK)相比差异不显著($P>0.05$)。结果表明肥料深施能够显著增加不同生育期氮素积累量($P<0.05$)。

表 2 不同生育期单株氮积累量与吸收比例

处理	植株氮积累量(g/株)			青贮玉米各阶段氮素积累量占总氮素积累量量比例/%		
	喇叭口期	吐丝期	成熟期	出苗-大喇叭口期	大喇叭口期-吐丝期	吐丝期-成熟期
CF	0.95b	1.96b	3.26b	29.14	30.98	39.88
CFZ	0.92b	1.91b	3.18b	28.93	31.13	39.94
CFS	1.17a	2.1a	3.49a	33.52	26.65	39.83
CK	0.93b	1.9b	3.16b	29.43	30.70	39.87

注:同列数据肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论与结论

研究表明[9]与表面撒播处理相比,沟施肥料显著的提高了玉米的千粒重、结实率和产量。钟[10]等报道与常规方法相比,侧深施肥有效提高了水稻的有效穗粒充实率。同时,研究发现氮肥深施能够提高作物的氮含量,提高品质[11],这与本研究的结果相似。

吴[12]等人研究发现氮肥深施能够有效提高秸秆的生物量。本研究发现小麦季肥料深施能够有效提高青贮玉米在不同时期的生物量,提高率大于10%。茎重、穗重以及叶重等是作物产量构成的重要组成部分。籽粒形成前,营养物质主要供给叶、杆的生长,籽粒形成后,营养物质开始向穗转移,导致茎、杆的干物质含量增长减缓[13]。在灌浆期,超过 50%的花后同化物从叶片分配到穗部[14]。花前储存在茎中的非结构性碳水化合物可以在灌浆期间运输到穗部,从而降低茎秆质量[15]。这也导致随着穗的形成,穗重对青贮玉米干物质量影响越来越大。本研究中肥料深施(CFS)处理在不同生育期能够显著影响穗轴的干重,进一步增加植株干重。

研究发现玉米植株在不同生育期对氮肥的累积量表现为抽雄肥≥ 拔节肥>苗肥>灌浆肥,在大喇叭口期至吐丝期达到最大[16,17]。本研究中小麦季肥料深施处理能够显著增加大喇叭口期至吐丝期氮素积累量,从而增加了青贮玉米的产量。

肥料深施技术、轮作技术能够有效提高氮素利用效率,增加作物产量,但是每种技术都有各自的缺点和使用限定,其每种技术对作物生长影响的具体原因还没有定论[18]。本试验发现小麦季肥料深施能够影响麦玉轮作玉米季作物的产量和品质,一方面是小麦季肥料深施减少的氮素浪费增加了土壤的氮素含量;另一方面肥料深施可能改变了土壤中微生物菌群和土壤结构,这需要进一步验证。

(下转第 43 页)