



高盼,王宇先,李欣洁,等.半干旱区秸秆还田配施氮肥对土壤养分、氮肥利用率及玉米产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(10):1-7.

# 半干旱区秸秆还田配施氮肥对土壤养分、 氮肥利用率及玉米产量的影响

高盼<sup>1</sup>,王宇先<sup>1</sup>,李欣洁<sup>2</sup>,蔡姗姗<sup>3</sup>,徐莹莹<sup>1</sup>,杨慧莹<sup>1</sup>,张巩亮<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2.山东省青岛市环境保护  
科学研究院,山东 青岛 266000; 3.黑龙江省黑土保护利用研究院,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为探究秸秆还田配施氮肥对玉米氮肥利用率及产量的影响,以黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院肥料长期定位试验田为研究对象,研究 CK(常规种植)、秸秆还田不配施氮肥(SR+N0)、秸秆还田分别配施氮肥 262.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N1)、300.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N2)、337.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N3)、375.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N4)、412.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N5)、450.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N6)和 487.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N7)等处理对土壤全量养分、化学计量特征、氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥利用率及玉米产量的影响进行分析。结果表明,与 CK 相比,SR+N5(秸秆还田+增施 10%氮肥)和 SR+N6(秸秆还田+增施 20%氮肥)处理对土壤全氮、全磷的累积最佳,SR+N4(秸秆还田+常规施肥)处理全钾含量最高,SR+N5 处理的土壤有机碳含量提高了 3.24%。SR+N6 和 SR+N7(秸秆还田+增施 30%氮肥)处理的土壤 C/N 较 CK 降低了 20%以上,SR+N4 处理 C/P 值最高;SR+N5 处理的 C/K、N/K 和 P/K 值均有所提升。SR+N2(秸秆还田+减施 20%氮肥)处理氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥利用率提升最为明显,与对照 CK 相比,氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥利用率分别提高了 21.14%、22.72%和 0.04%。秸秆还田下,当地推荐施氮量加 20%(450.0 kg·hm<sup>-2</sup>)产量最高。秸秆还田的基础上配施氮肥对玉米产量的影响呈二次函数关系,在秸秆还田配施氮肥用量为 450.0 kg·hm<sup>-2</sup>时,继续加大氮肥配施量会抑制玉米的产量。综合考虑,增氮 20%(450.0 kg·hm<sup>-2</sup>)可作为协调半干旱区秸秆还田下春玉米产量的合理选择。

**关键词:**秸秆还田;氮肥;全量养分;氮肥利用效率;产量

黑龙江省西部半干旱区是我国重要的玉米产区,其玉米种植面积和产量在全国占有重要位置<sup>[1]</sup>。施用化肥作为提高玉米产量的重要措施之一,其氮肥的作用尤为显著。但长期施用氮肥,增大了农业投入成本,导致土壤养分失衡,氮肥利用率降低、玉米高氮增产效果不明显<sup>[2]</sup>。作物秸秆既含有作物生长所必需的碳、氮、磷、钾等营养元素,又可有效改善土壤理化性质和生物学性状,而作物秸秆直接还田势必会导致土壤碳、氮比上升,不利于作物的生长<sup>[3]</sup>。因此,秸秆还田配施适量氮肥作为提高土壤肥力和实现农业可持续发展的一种重要措施已被广泛认可。关于秸秆还田配施氮肥对土壤养分和作物产量的影响已有诸多报道。宋佳杰等<sup>[4]</sup>研究认为,在关中地区秸秆还田配施化肥会改善土壤物理性状,增加土壤养分,同时提高冬小麦产量。孟祥宇等<sup>[5]</sup>研究结果表明,

秸秆全量还田条件下配施适量氮肥可改善土壤通气状况,并增加水稻生物产量。张俊莹等<sup>[6]</sup>研究了连续秸秆还田条件下氮肥减施对土壤养分和水稻产量的影响,认为水稻秸秆还田+减氮 10%处理可以提高土壤碱解氮和速效钾含量,且水稻产量有一定程度的增加。高丽超等<sup>[7]</sup>研究发现,秸秆还田配施控释掺混尿素较普通尿素更有利于小麦前期和后期速效氮供应,长期施用能显著提高土壤有机质含量,可提高土壤的保肥性和缓冲性,培肥土壤。但在实际生产过程中,玉米秸秆还田配施氮肥对氮肥利用效率的影响因区域土壤类型、耕作措施和气候等因素的不同而存在差异,且玉米产量与氮肥用量关系密切,黑龙江省西部松嫩平原光热资源丰富,玉米单产水平高,发展潜力大,是我国重要的粮食产区。松嫩平原存在降水较少、黑钙土耕层土壤结构不良和养分匮乏、肥料

收稿日期:2024-06-24

基金项目:齐齐哈尔市科技计划重点项目(ZDGG-202208);黑龙江省农业科技创新跨越工程——农业基础数据监测项目(CX23JC06);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2023029,CNYGG-2023024)。

第一作者:高盼(1990—),女,硕士,助理研究员,从事土壤培肥与改良研究。E-mail:3250655758@qq.com。

通信作者:王宇先(1982—),男,硕士,副研究员,从事耕作栽培研究。E-mail:623249381@qq.com。

利用效率低等问题,秸秆还田措施已成为该区一种有效的土壤培肥措施,但秸秆在腐解过程中需要消耗一定量的氮,进而出现土壤微生物与作物争氮的现象。为防止玉米秸秆与作物争氮,在当地推荐施氮量的基础上增施一定量的氮肥,但过多的氮肥又会对土壤环境造成污染<sup>[8]</sup>。因此研究秸秆还田配施不同用量氮肥对改善黑龙江省西部半干旱区黑钙土肥力、提高玉米氮肥利用效率具有重要意义。于2018年开始在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验基地,开展秸秆全量还田配施氮肥不同用量试验,研究其对玉米产量及氮肥利用率的影响,以期为该区秸秆还田条件下合理施用氮肥,实施黑钙土快速培肥和玉米肥料高效利用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在黑龙江省齐齐哈尔市富拉尔基区黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院玉米秸秆还田试验基地(47°16'N,123°41'E)开展,秸秆还田配施氮肥定位试验开始于2018年,至2023年本试验已持续6年。该基地属于中温带大陆性季风气候,年平均降水量400 mm,雨热同期,降水主要分布在5月—10月。土壤类型为黑钙土,0~20 cm土层土壤基本理化性质:碱解氮127 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷20.23 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾152.36 mg·kg<sup>-1</sup>,有机质24.32 g·kg<sup>-1</sup>,pH为7.83。

### 1.2 材料

玉米供试品种为雄玉1688,为中熟品种,适宜在黑龙江省第一积温带种植,由南通大熊种业科技有限公司和中国科学院东北地理与农业生态研究所共同选育。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用单因素随机区组设计,在玉米秸秆全量还田(14 000 kg·hm<sup>-2</sup>)条件下,共设6个处理,秸秆还田不配施氮肥(SR+N0)、秸秆还田分别配施氮肥262.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N1)、300.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N2)、337.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N3)、375.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N4)、412.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N5)、450.0 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N6)、487.5 kg·hm<sup>-2</sup>(SR+N7),以秸秆不还田施用375.0 kg·hm<sup>-2</sup>氮肥为对照(CK),其中秸秆还田处理为每年秋季机械收获后将玉米秸秆全部粉碎为长度≤5 cm左右的小段,均匀翻入0~25 cm土层。

氮肥配施水平设置依据:结合当地玉米施用

氮肥用量(375.0 kg·hm<sup>-2</sup>),且秸秆直接还田时通常需施一定量无机氮肥,以补充因秸秆分解和微生物活动争氮而造成土壤速效氮的不足,调节C/N。因此设计较氮肥施用量增加10%、20%和30%的处理,即412.5、450.0和487.5 kg·hm<sup>-2</sup>,为探讨秸秆还田条件下不同施氮用量对黑钙土理化性质及其玉米产量和氮肥利用效率的影响,同时设置氮肥减少10%、20%和30%的处理,即337.5、300.0和262.5 kg·hm<sup>-2</sup>。将基肥磷酸二铵262.5 kg·hm<sup>-2</sup>、硫酸钾112.5 kg·hm<sup>-2</sup>施于地表,尿素N质量分数≥46%,分别在播种前,基肥氮肥量为总氮肥量30%,其他氮肥增加或减少用量在拔节期追肥时施入。N0处理为100.0 kg·hm<sup>-2</sup>过磷酸钙和112.5 kg·hm<sup>-2</sup>硫酸钾。小区面积5.4 m<sup>2</sup>,采用随机区组设计,各处理9次重复,小区间设有大铁板隔离带。玉米种植密度为4 500株·hm<sup>-2</sup>,行距65 cm,株距23 cm,2023年5月5日播种,10月10日收获,试验期间遇旱喷灌,生育期内人工除草。

1.3.2 测定项目及方法 2023年9月28日对各处理小区土壤进行采集,采用S形取样法,深度为0~20 cm,3次重复。采集样品自然风干后过0.25 mm分样筛,常温保存备用。

采用凯氏定氮消化-蒸馏法测定土壤全氮含量;采用酸溶-钼锑抗比色法测定全磷含量;采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定全钾含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用乙酸铵浸提,火焰光度法测定速效钾含量;采用重铬酸钾-外加热容量法测定有机质含量;利用pH计(水土比1.0:2.5)测定<sup>[9]</sup>。

成熟期各处理每个重复随机挑选长势均匀一致的5 m双行,选取5穗考察穗长度、穗粒数、含水率并记算每公顷籽粒产量(14%标准含水量),其余脱粒晒干后称量计产。

在玉米收获期,每处理选取3个点,每点选取长势均匀一致的3个植株。分根、茎叶和籽粒3部分,105℃杀青30 min,然后80℃烘至恒重,测定植株地上部生物量(茎叶、籽粒)和全氮含量,结合种植密度计算玉米生物产量,并计算收获指数。

收获指数(%)=籽粒产量/生物产量×100<sup>[10]</sup>

1.3.3 数据分析 采用Excel 2010进行数据处理,采用SPSS 19.0分析差异显著性。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田配施氮肥对土壤全量养分含量的影响

由表 1 可知,秸秆处理与氮肥的交互作用影响了土壤全量养分含量。在秸秆还田条件下,各氮肥处理间全氮含量为 SR+N5>SR+N6>SR+N7>SR+N1=SR+N2=CK>SR+N4>SR+N3>SR+N0,处理间差异不显著。与 CK 相比,SR+N5、SR+N6 和 SR+N7 处理土壤全氮含量分别增加了 8.96%、6.72%和 5.22%。不同处理土壤全磷含量顺序为 SR+N5>SR+N6=SR+N7>CK>SR+N1>SR+N2=SR+N3=SR+N4>

SR+N0,除 SR+N0 显著低于 SR+N5、SR+N6 和 SR+N7 外,处理间差异不显著。SR+N5 和 SR+N6 处理较 CK 提升了 10.61%和9.09%。不同氮肥处理土壤全钾含量差异不显著,顺序为 SR+N4>SR+N6>SR+N7>SR+N1>SR+N2>SR+N3>SR+N5>CK>SR+N0,其中 SR+N4、SR+N6 和 SR+N7 处理较 CK 处理全钾含量分别升高了 2.44%、2.24%和 2.13%。处理间有机碳含量差异不显著,其中 SR+N5 处理最高,与对照 CK 相比,SR+N5 处理土壤有机碳含量增加了 3.24%。

表 1 秸秆还田配施氮肥对土壤全量养分含量的影响

单位:g·kg<sup>-1</sup>

处理	全氮	全磷	全钾	有机碳
SR+N1	1.34±0.02 ab	0.63±0.02 ab	20.09±0.12 a	13.53±0.14 a
SR+N2	1.34±0.02 ab	0.61±0.02 ab	20.07±0.13 a	12.49±0.12 a
SR+N3	1.24±0.02 ab	0.61±0.02 ab	20.06±0.25 a	14.94±0.08 a
SR+N4	1.28±0.01 ab	0.61±0.02 ab	20.16±0.16 a	15.08±0.16 a
SR+N5	1.46±0.02 a	0.73±0.02 a	20.05±0.22 a	15.91±0.25 a
SR+N6	1.43±0.01 a	0.72±0.03 a	20.12±0.21 a	11.96±0.08 a
SR+N7	1.41±0.01 a	0.72±0.02 a	20.10±0.13 a	11.79±0.10 a
SR+N0	1.22±0.02 ab	0.52±0.01 b	18.67±0.11 a	11.17±0.11 a
CK	1.34±0.01 ab	0.66±0.02 ab	19.68±0.18 a	15.41±0.24 a

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.2 秸秆还田配施氮肥对土壤化学计量特征的影响

如表 2 所示,不同处理 C/K、N/K 和 P/K 差异不显著。土壤 C/N 表现为 SR+N3>SR+N4>CK>SR+N5>SR+N1>SR+N2>SR+N0>SR+N6=SR+N7,与 CK 相比,SR+N5、SR+N1、SR+N2、SR+N0、SR+N6 和 SR+N7 处理

的 C/N 分别降低了 5.22%、12.17%、18.96%、20.35%、27.30%和 27.30%。SR+N3 和 SR+N4 处理的土壤 C/P 较 CK 增加了 4.88%和 5.87%。SR+N5 处理的土壤 C/K 较 CK 提升了 1.28%。SR+N5、SR+N6 和 SR+N7 处理的土壤 N/K 和 P/K 分别较 CK 升高了 7.35%、4.41%、2.94%和 5.88%、5.88%、5.88%。

表 2 秸秆还田配施氮肥对土壤化学计量比的影响

处理	C/N	C/P	C/K	N/P	N/K	P/K
SR+N1	10.10±0.142 b	21.48±1.02 b	0.67±0.012 a	2.13±0.030 ab	0.067±0.001 a	0.031±0.001 a
SR+N2	9.32±0.281 c	20.48±1.14 b	0.62±0.011 a	2.20±0.030 a	0.067±0.001 a	0.030±0.001 a
SR+N3	12.05±0.400 a	24.49±0.88 a	0.74±0.009 a	2.03±0.015 ab	0.062±0.001 a	0.030±0.001 a
SR+N4	11.78±0.133 a	24.72±0.93 a	0.75±0.009 a	2.10±0.028 ab	0.063±0.001 a	0.030±0.001 a
SR+N5	10.90±0.274 b	21.79±1.09 b	0.79±0.021 a	2.00±0.015 ab	0.073±0.003 a	0.036±0.001 a
SR+N6	8.36±0.321 cd	16.61±1.03 c	0.59±0.019 a	1.99±0.006 b	0.071±0.002 a	0.036±0.001 a
SR+N7	8.36±0.242 cd	16.38±0.87 c	0.59±0.008 a	1.96±0.004 b	0.070±0.002 a	0.036±0.001 a
SR+N0	9.16±0.120 c	21.48±0.62 b	0.60±0.014 a	2.35±0.031 a	0.065±0.001 a	0.028±0.001 a
CK	11.50±0.163 a	23.35±0.77 a	0.78±0.008 a	2.03±0.015 ab	0.068±0.002 a	0.034±0.001 a

2.3 秸秆还田配施氮肥对氮肥农学效率的影响

2.3.1 氮肥农学效率 由图 1 可知,秸秆还田条件下配施氮肥对氮肥农学效率产生一定的影响。其中 SR+N2 处理氮肥农学效率最高,为 14.33 kg·kg<sup>-1</sup>,与其他处理差异达到显著水平( $P<0.05$ )。与对照 CK 相比,SR+N1、SR+N2、SR+N4 和 SR+N6 处理的氮肥农学效率提高了 4.47%、21.14%、4.98%和 8.26%,SR+N3、SR+N5 和 SR+N7 处理的氮肥农学效率较 CK 降低了 26.33%、1.69%和 4.67%。

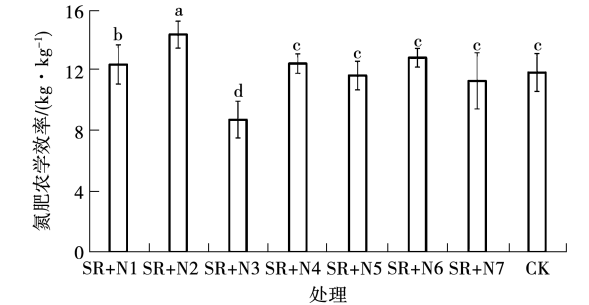


图 1 秸秆还田与配施氮肥对氮肥农学效率的影响  
注:不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

2.3.2 氮肥偏生产力 由图 2 可知,秸秆还田配施氮肥对氮肥偏生产力具有显著的调节作用。SR+N2 处理氮肥偏生产力最高,与其他处理差异达到显著水平( $P<0.05$ )。与 CK 相比,SR+N1、SR+N2、SR+N3 和 SR+N4 处理的氮肥偏生产力分别升高 1.96%、22.72%、7.19%和 2.94%。而 SR+N5、SR+N6 和 SR+N7 处理的氮肥偏生产力较对照处理分别降低了 4.72%、1.93%和 12.19%。

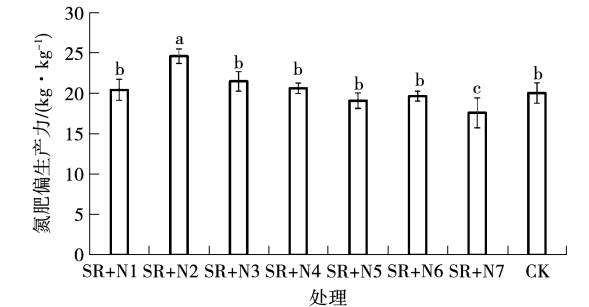


图 2 秸秆还田配施氮肥对氮肥偏生产力的影响

2.3.3 氮肥利用率 由图 3 可知,SR+N2 处理氮肥利用率最高,为 35.28%,较 CK 提高了 0.04%。与对照 CK 处理相比,SR+N1、SR+N3、SR+N4、SR+N5、SR+N6 和 SR+N7 处理氮肥利用率分

别降低了 4.74%、4.46%、0.68%、4.88%、3.08%和 4.63%。

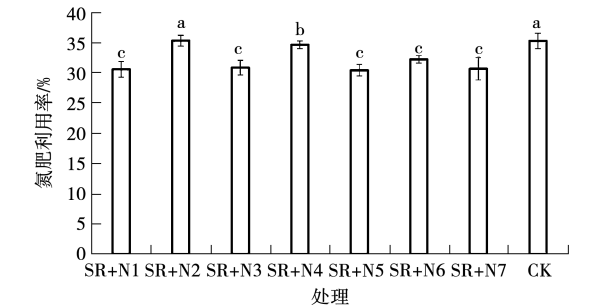


图 3 秸秆还田配施氮肥对氮肥利用率的影响

2.4 秸秆还田配施氮肥对玉米产量性状的影响

由表 3 可知,不同处理籽粒产量、生物产量及收获指数差异达到显著水平( $P<0.05$ ),与 CK 相比,SR+N0、SR+N1、SR+N2、SR+N3 处理籽粒产量分别降低了 59.11%、28.63%、3.53%和 1.83%,SR+N4、SR+N5、SR+N6、SR+N7 处理籽粒产量分别较 CK 增加了 2.94%、4.81%、17.68%和 14.15%。生物产量以 SR+N7 处理最高,SR+N6 处理次之,较 CK 处理分别增产 12.41%和 6.52%。SR+N4、SR+N5、SR+N6、SR+N7 处理的收获指数较 CK 分别提高了 4.60、3.93、5.25 和 0.77 个百分点。

表 3 秸秆还田配施氮肥对玉米产量性状的影响			
处理	籽粒产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	生物产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	收获指数/ %
SR+N0	3069±192 d	6897±632 c	44.49±3.4 c
SR+N1	5357±258 c	10868±682 b	49.04±5.2 b
SR+N2	7241±226 b	14932±713 a	49.35±4.0 b
SR+N3	7369±241 b	14764±841 a	49.29±3.7 b
SR+N4	7727±239 b	14129±736 a	54.69±4.2 a
SR+N5	7867±247 b	14562±647 a	54.02±3.6 a
SR+N6	8833±297 a	15961±710 a	55.34±4.8 a
SR+N7	8568±287 a	16844±656 a	50.86±5.1 b
CK	7506±276 b	14984±685 a	50.09±2.9 b

2.5 秸秆还田配施氮肥下玉米籽粒产量与施氮量关系探讨

通过对玉米产量和秸秆还田配施氮肥进行曲线拟合,发现在秸秆还田的基础上配施氮肥对玉米产量的影响呈二次函数关系,当  $x$ (秸秆还田配施纯氮量)取 450 kg·hm<sup>-2</sup>时, $y$ (玉米籽粒产量)取得最大值 8 833 kg·hm<sup>-2</sup>。说明本试验条件下 450 kg·hm<sup>-2</sup>为最适浓度。



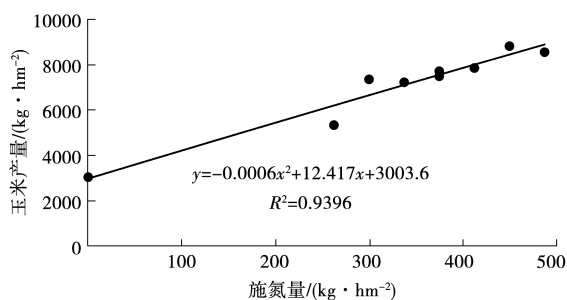


图 4 秸秆还田配施氮肥条件下  
玉米产量与配施氮肥的关系

### 3 讨论

#### 3.1 秸秆还田配施氮肥对土壤养分特征的影响

种植制度和农田管理措对土壤养分含量的调节有至关重要的作用<sup>[11]</sup>。研究表明,秸秆还田添加氮肥能够加速秸秆腐解,提高土壤固氮微生物数量,促进氮素和有机碳的积累<sup>[12]</sup>。磷素作为生命系统的主要营养元素及生态系统中重要的养分限制因子,秸秆还田能够促进土壤微生物的繁殖和生长,较高的微生物量对土壤磷的矿化能够起到较好的促进作用<sup>[13]</sup>,从而显著增加土壤磷素含量。土壤的全钾含量是土壤中钾素输入与输出的平衡结果,施肥和秸秆还田是增加土壤中钾素含量的主要途径<sup>[14]</sup>。本研究中,秸秆还田+增施 10%~20%氮肥的 SR+N5 和 SR+N6 处理对土壤全氮、全磷的累积效果最佳。主要是因为秸秆含有丰富的氮、磷等营养元素,配施适宜的氮肥产生了激发效应,加速了微生物生长代谢活动,促进了作物残体分解<sup>[15]</sup>,从而增加了土壤全氮、全磷含量。SR+N4(秸秆还田+常规施肥)处理全钾含量最高,说明土壤全钾含量提高可能与秸秆本身富含钾元素有关<sup>[16]</sup>。与 CK 相比,SR+N5 处理的土壤有机碳含量提高了 3.25%,原因是增施 10%氮肥有利于秸秆腐解,且释放大量的有机化合物,土壤微生物活跃,使土壤碳素转化为缓慢有效的碳源,有利于土壤有机碳积累<sup>[17]</sup>。

土壤碳、氮、磷化学计量比是预测有机质分解速率的重要指标之一<sup>[18]</sup>。其中,土壤 C/N 与有机质的分解速率呈反比关系<sup>[19]</sup>。本研究发现,SR+N6(秸秆还田+增施 20%氮肥)和 SR+N7(秸秆还田+增施 30%氮肥)处理的土壤 C/N 较 CK 降低了 20%以上,说明秆还田处理下增施适当氮肥有助于降低有机质的分解速率,能够有效调节土壤 C/N,缓解土壤微生物与玉米“争氮”现象。土壤 C/P 是表征土壤中磷有效性的重要指标,其比值大小与磷有效性高低有关,比值越高,固磷潜力越强<sup>[20]</sup>。SR+N4(秸秆还田+常规施

肥)处理 C/P 值最高,原因是秸秆还田后磷素转化效率提升,有效磷含量增加,加之磷素在农田土壤中比较稳定,研究区域较好的固磷潜力也进一步降低了磷素流失。SR+N5 处理的 C/K、N/K 和 P/K 值均有所提升,表明秸秆还田+增施 10%氮肥使微生物矿化有机质释放出更多养分,钾的有效性也更高,因此在植物和土壤中积累较多<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 秸秆还田配施氮肥对玉米产量的影响

大量研究表明秸秆还田可有效提升玉米籽粒产量及茎叶等地上部生物量<sup>[4,8,22]</sup>。吴鹏年等<sup>[23]</sup>研究认为秸秆还田配施适宜的氮肥对玉米有显著的增产效果。本研究结果表明,秸秆还田后,随着氮肥用量的减少,产量也在降低,当施氮量降低于 300 kg·hm<sup>-2</sup>时,产量出现断崖式下降。而当氮肥增加时,产量也在增加,但当施氮量超过 450 kg·hm<sup>-2</sup>后,产量下降。原因可能是较少的氮肥导致了秸秆分解和微生物活动争氮而造成土壤速效氮的不足,影响植株叶绿素的合成,最终影响籽粒产量<sup>[24]</sup>;而施用过量氮肥可能对玉米生长发育产生抑制作用,导致植株群体过大,不利于穗部发育,使玉米有效穗数及籽粒结实率降低<sup>[25]</sup>。

前人研究指出,施氮量和籽粒产量呈二次曲线关系,在一定阈值范围内,施氮能增加产量,当施氮量超过临界值,产量有所下降<sup>[26]</sup>。在本研究中,秸秆还田后,配施纯氮量 450.0 kg·hm<sup>-2</sup>时,玉米产量最高。说明秸秆还田及施用适量氮肥对玉米有增产效果,可能是因为土壤在作物生长后期,还能够保证较高的肥力供给,进而提高作物产量。作物产量的形成需要适量的氮肥,而氮肥供应不足将导致作物产量损失。同时,过量供应会导致氮肥利用率下降,进而导致作物产量大幅下降,并对生态环境造成污染风险<sup>[27]</sup>。

#### 3.3 秸秆还田配施氮肥对玉米氮肥利用效率的影响

玉米是对氮肥较敏感的作物之一,秸秆还田后能够影响玉米生长及对氮肥的吸收与利用<sup>[28]</sup>。研究表明,随着施氮量的提高,地上部氮素积累量会有所增加,但是氮肥农学效率、氮肥利用率、氮肥偏生产力随施氮量变化有所差异<sup>[29]</sup>。刘成敏等<sup>[30]</sup>研究表明,长期秸秆还田下,随施氮量的增加,棉花氮肥农学利用率和氮肥利用效率均表现为先升高后降低的趋势。邹文秀等<sup>[31]</sup>研究认为玉米秸秆深翻还田(深度为 0~35 cm)可以改善土壤的供氮能力,促进植株对氮素的吸收利用,进而提高氮肥利用率。苏珊珊等<sup>[32]</sup>研究表明在玉米-大豆轮作且长期秸秆还田条件下,玉米氮肥农学效率

随施氮量增加而逐渐降低。本研究表明,在秸秆全量还田条件下、当地推荐施氮量减 20%(施氮量  $300.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的 SR+N2)处理玉米氮肥农学效率、氮肥偏生产力和氮肥利用率最高。可能是因为玉米秸秆还田合理减施肥料用量能降低氮素淋失作用<sup>[33]</sup>,能促进土壤中氮素的转化<sup>[34]</sup>,增加速效氮含量,有利于植株氮素的积累,进而提高了肥料利用效率。

## 4 结论

秸秆还田+增施 20%氮肥(SR+N6)处理对土壤全氮和全磷的积累有明显促进作用,且显著降低了土壤 C/N。秸秆还田下,当地推荐施氮量加 20%( $450.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )处理籽粒产量最高。当增氮量超过 20%时,随着氮肥量的增加玉米籽粒产量降低。综合考虑,秸秆还田基础上增施氮肥 20%可作为协调半干旱区秸秆还田下春玉米产量的合理选择。

## 参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴:2016[M]. 北京:中国统计出版社, 2016.
- [2] 张天尧, 吴泽璐, 卫正宇, 等. 整合分析秸秆还田对中国主要粮食作物氮肥利用率的影响[J]. 土壤与作物, 2023, 12(4):429-438.
- [3] 吕艳杰, 于海燕, 姚凡云, 等. 秸秆还田与施氮对黑土区春玉米田产量、温室气体排放及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(11):1456-1463.
- [4] 宋佳杰, 徐郗阳, 白金泽, 等. 秸秆还田配施化肥对土壤养分及冬小麦产量的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(9):4839-4847.
- [5] 孟祥宇, 冉成, 刘宝龙, 等. 秸秆还田配施氮肥对东北黑土稻区土壤养分及水稻产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(3):167-172.
- [6] 张俊莹, 赵立琴, 吴金花, 等. 秸秆还田条件下氮肥减施对稻田土壤养分及酶活性和产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 33(5):30-35.
- [7] 高丽超, 郑文魁, 程运龙, 等. 长期施用控释掺混尿素对麦田土壤酶活性及养分的影响[J]. 水土保持学报, 2023, 37(2):343-350.
- [8] 李荣, 勉有明, 侯贤清, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤性质及玉米水氮利用效率的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(10):2820-2832.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [10] 李玮, 乔玉强, 陈欢, 等. 玉米秸秆还田配施氮肥对冬小麦土壤氮素表现盈亏及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3):561-570.
- [11] 田磊, 屈佳伟, 于晓芳, 等. 秸秆还田配施氮肥对河套平原砂壤土的物理特性和春玉米氮效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(12):17-26.
- [12] 宫秀杰, 钱春荣, 曹旭, 等. 玉米秸秆还田配施氮肥对土壤酶活、土壤养分及秸秆腐解率的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(2):151-155.
- [13] 闫宇婷, 宋秋来, 闫超, 等. 连作秸秆还田下玉米氮素积累与氮肥替代效应研究[J]. 作物学报, 2022, 48(4):962-974.

- [14] 于舒函, 龚振平, 马春梅, 等. 秸秆还田与施氮肥对松嫩平原玉米氮素吸收及产量的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(4):129-134.
- [15] 游来勇, 李冰, 王昌全, 等. 秸秆还田量对麦-稻轮作体系作物产量、氮素吸收利用效率的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(12):2394-2401.
- [16] 陈金, 唐玉海, 尹燕桦, 等. 秸秆还田条件下适量施氮对冬小麦氮素利用及产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(1):160-167.
- [17] 白伟, 安景文, 张立祯, 等. 秸秆还田配施氮肥改善土壤理化性状提高春玉米产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15):168-176.
- [18] 侯贤清, 李荣, 吴鹏年, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量与玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(9):238-246.
- [19] 李扬, 张梦歌, 王震, 等. 耕作和秸秆还田对球囊霉素和土壤生态化学计量特征的影响[J]. 山东农业科学, 2024, 56(2):118-123.
- [20] 卓志清, 李勇, 兴安, 等. 东北旱作区土壤碳氮磷生态化学计量特征及其影响因素[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10):259-268, 336.
- [21] 杜映妮, 李天阳, 何丙辉, 等. 长期施肥和耕作下紫色土坡耕地土壤 C、N、P 和 K 化学计量特征[J]. 环境科学, 2020, 41(1):394-402.
- [22] 彭亚敏, 武均, 蔡立群, 等. 免耕及秸秆覆盖对春小麦-土壤碳氮磷生态化学计量特征的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(4):1062-1072.
- [23] 吴鹏年, 王艳丽, 侯贤清, 等. 秸秆还田配施氮肥对宁夏黄灌区滴灌玉米产量及土壤物理性状的影响[J]. 土壤, 2020, 52(3):470-475.
- [24] 程曼, 解文艳, 杨振兴, 等. 黄土旱塬长期秸秆还田对土壤养分、酶活性及玉米产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10):1528-1536.
- [25] 阿的哈则, 常涛, 秦瑞敏, 等. 人工草地土壤碳氮磷含量变化及化学计量特征研究[J]. 草地学报, 2024, 32(3):827-837.
- [26] 李春越, 苗雨, 薛英龙, 等. 长期施肥黄土旱塬农田土壤-微生物-植物系统碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2022, 42(1):370-378.
- [27] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 近 30 年川中丘陵区不同土地利用方式土壤碳氮磷生态化学计量特征变化[J]. 土壤, 2016, 48(4):726-733.
- [28] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778-783.
- [29] 刘玮斌, 田文博, 陈龙, 等. 不同秸秆还田方式对土壤酶活性和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5):25-29.
- [30] 刘成敏, 门雅碧, 秦都林, 等. 长期秸秆还田下施氮量对棉花产量和氮素利用的影响[J]. 作物学报, 2024, 50(4):1043-1052.
- [31] 邹文秀, 韩晓陆, 陆欣春, 等. 秸秆还田后效对玉米氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(20):4237-4247.
- [32] 苏珊珊, 张吉立, 彭程, 等. 秸秆还田条件下大豆-玉米轮作体系中氮素对玉米产量和氮利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(5):68-75.
- [33] 杨铭, 贾利元, 王红军. 轮耕模式与秸秆还田量对土壤碳氮及相关酶活性变化的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(12):119-126.
- [34] 韩成卫, 孔晓民, 郝福庭, 等. 不同耕作与秸秆处理模式对鲁西南潮褐土物理性状及玉米产量的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(4):100-104.

# Effects of Straw Returning and Nitrogen Fertilizer Application on Soil Nutrients, Nitrogen Fertilizer Utilization Efficiency, and Maize Yield in Semi-Arid Areas

GAO Pan<sup>1</sup>, WANG Yuxian<sup>1</sup>, LI Xinjie<sup>2</sup>, CAI Shanshan<sup>3</sup>, XU Yingying<sup>1</sup>, YANG Huiying<sup>1</sup>, ZHANG Gongliang<sup>1</sup>

(1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China; 2. Qingdao Environmental Protection Science Research Institute, Qingdao 266000, China; 3. Heilongjiang Province Black Soil Protection and Utilization Research Institute, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of straw returning with nitrogen fertilizer on the nitrogen utilization efficiency and yield of maize, this experiment took the fertilizer long-term positioning experimental field of Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences as the research object. CK (conventional planting), straw returning without nitrogen fertilizer (SR+N0), and straw returning with nitrogen fertilizer 262.5 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N1), 300.0 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N2), 337.5 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N3), 375.0 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N4), 412.5 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N5), 450.0 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N6), 487.5 kg·ha<sup>-1</sup> (SR+N7) were applied respectively. The effects of nitrogen fertilizer treatments on soil total nutrients, chemical stoichiometry characteristics, nitrogen fertilizer agronomic efficiency, nitrogen fertilizer partial productivity, nitrogen fertilizer utilization efficiency, and yield were analyzed. The results showed that compared with CK, the SR+N5 and SR+N6 treatments of straw returning + 10% nitrogen fertilizer and straw returning + 20% nitrogen fertilizer application had the best accumulation of soil total nitrogen and phosphorus. The SR+N4 (straw returning + conventional fertilization) treatment had the highest total potassium content, and the SR+N5 treatment increased soil organic carbon content by 3.24%. The soil C/N value of SR+N6 (straw returning + 20% nitrogen fertilizer application) and SR+N7 (straw returning + 30% nitrogen fertilizer application) treatments decreased by more than 20% compared to CK, while SR+N4 (straw returning + conventional fertilization) treatment had the highest C/P value; The C/K, N/K, and P/K values of SR+N5 treatment were all improved. The SR+N2 treatment showed the most significant improvement in the agronomic efficiency, partial productivity, and utilization efficiency of nitrogen fertilizer. Compared with the control CK, the agronomic efficiency, partial productivity, and utilization efficiency of nitrogen fertilizer increased by 21.14%, 22.72%, and 0.04%, respectively. Returning straw to the field, the highest yield can be achieved with a recommended nitrogen application rate of 20% (450.0 kg·ha<sup>-1</sup>) locally. The effect of applying nitrogen fertilizer on maize yield on the basis of returning straw to the field shows a quadratic function relationship. When the amount of nitrogen fertilizer applied to straw returning was 450.0 kg·ha<sup>-1</sup>, increasing the amount of nitrogen fertilizer will inhibit maize yield. Taking all factors into consideration, a 20% increase in nitrogen (450 kg·ha<sup>-1</sup>) can be a reasonable choice for coordinating the yield of spring maize under straw returning in Semi-Arid Areas.

**Keywords:** returning straw to the field; nitrogen fertilizer; total nutrients; nitrogen fertilizer utilization efficiency; yield

## 著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据、博看网、长江文库、超星、龙源期刊网、中邮阅读网等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

黑龙江农业科学编辑部