

有机肥等氮量替代化肥对豫南砂姜黑土区 夏玉米生长及土壤理化性状的影响

柴汕,李青松,高慧姍,张泽醜,张进财

(河南农业大学 资源与环境学院,郑州 450001)

摘要:有机肥替代部分化肥是实现中国化肥零增长的重要技术途径之一.在豫南砂姜黑土条件下,通过大田实验,以夏玉米豫单 132 为试验材料,采用商品有机肥等氮量替代化肥法,设置正常施化肥和不施氮肥为对照,有机肥等氮量替代 20%,40%,60%,80%,100%化肥共 7 个处理,研究了有机肥等氮量替代化肥对夏玉米生长及土壤理化性状的影响.结果表明:施用有机肥处理产量均高于单施化肥处理组,随有机肥替代比例增加,玉米产量呈先增加后下降趋势,其中以有机肥等氮替代 60%化肥时,相比单施化肥处理,产量、干物质量最大,分别增加了 21.87%,17.39%;玉米植株光合作用最强,功能叶 SPAD 值,净光合速率,气孔导度,蒸腾作用分别增加了 18.30%,27.67%,40.91%,32.88%;玉米植株氮磷钾最高;施用有机肥处理组的土壤氮磷钾含量增加,土壤容重下降 7.43%~22.20%,土壤 pH 值增加 0.42%~5.69%,土壤含水量增加 0.81%~21.10%,土壤有机质含量增加了 12.3%~46.6%;可能是有机肥等氮替代 60%化肥时,土壤有机物质含量增加,促进植株光合作用,有助于作物养分积累和转移,增加产量,改良土壤理化性质.

关键词:豫南农区;砂姜黑土;夏玉米;有机肥替代化肥

中图分类号:S311

文献标志码:A

施肥是提升作物产量的主要技术措施之一^[1],化肥的投入和施用对农业生产发挥了重要的促进作用,在提高产量的同时,也面临着过量施用化肥的问题.1980 年至 2015 年,中国的农用化肥总用量增长了 275.05%,粮食总产量增加了 114.32%,由于长期过量施用化肥,导致粮食增产的弹性降低,化肥利用率也处于较低水平,粮食增产的速率远小于化肥投入的增长率不合理、过量施用化肥,尤其是过量施用氮肥,造成了农业面源污染、大气污染、土壤板结、土壤酸化及土地盐碱化等一系列环境问题^[2].有机肥富含丰富的有机质,能够为作物提供生长、发育所需的大量营养元素.在农业生产中施用有机肥可以增加土壤养分含量^[3],增强作物的光合作用,从而促进作物干物质形成,进而起到增加作物产量、改良土壤性质的作用^[4].有机肥目前在我国的果园、茶园生产中已被广泛应用,但在粮食作物上,尤其是玉米的生产中研究和经验较少,且有机肥肥效缓,作用时间长,单施有机肥会导致作物缺乏营养,产量降低,需与化肥配施^[5],达到最佳效果.

玉米是重要的粮饲作物,研究表明,在玉米种植中使用有机肥与化肥配施能够改善土壤环境、培肥地力,进而提升作物产量,同时能够减少化肥施用带来的农业面源污染等问题^[6].在不同类型土地上,不同作物中,不同的配施比例对作物生长发育和土壤产生的影响均有不同.与单施化肥相比,用沼渣沼液氮替代 20%化肥氮和猪粪堆肥氮替代 30%化肥氮,对春玉米产量和品质效果最好^[7].在华北平原潮土上,商品有机肥氮替代 11.3%化肥氮能保证冬小麦-夏玉米轮作体系中稳产、高产^[8].在吉林黑土上,秸秆氮替代 30%化肥氮素,能够减少化肥氮投入,提高了土壤供氮水平.在西南紫色土地区,有机肥氮替代 50%化肥氮显著提高了玉米经济

收稿日期:2022-10-03;修回日期:2022-12-31.

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0200600).

作者简介:柴汕(1997—),女,河南平顶山人,河南农业大学硕士研究生,研究方向为土壤与肥料,E-mail:907801929@qq.com.

通信作者:李青松,E-mail:lqs david@126.com.

产量和生物产量^[10].在山东棕壤土上,冬小麦-夏玉米轮作体系下有机肥替代25%化肥氮用量,比单施化肥处理获得更高的产量和品质^[11].研究表明,在山区红壤上,以有机肥替代30%的化肥可以增加玉米籽粒、产量,效果最佳^[12].豫南砂姜黑土区位于河南省中南部,总耕地面积达150万hm²以上,是河南省最主要粮食产区.该区土壤类型为砂姜黑土,涨缩性强,作物根系下扎困难,土壤酸化问题突出,土壤保水保肥性能较差,土壤养分不均,因而粮食产量低于省平均水平,且年间间单产波动较大,在豫南砂姜黑土区进行有机肥替代化肥的研究,将为该区域玉米产量的稳定提供参考.

1 材料与方 法

1.1 试验地点与材料

试验地点位于河南省驻马店市西平县二郎镇张尧村(33°10'N,113°36'E),供试土壤为砂姜黑土,基础理化性质为:全氮质量分数1.21 g/kg,速效磷质量分数26.34 mg/kg,速效钾质量分数108.52 mg/kg,有机质质量分数24.5 g/kg,pH值4.6.供试夏玉米品种为豫单132,品种来源为HL237×HL896.供试肥料为洋丰肥业有限公司提供的化肥与商品有机肥,其中商品有机肥元素质量分数为有机质17.51%,全氮4.04%,全磷0.57%,全钾0.60%,含水量17.51%;化肥中尿素含N量为46.4%,过磷酸钙含P₂O₅12%,氯化钾含K₂O为60%.

1.2 试验方法

试验设计采取大田实验,划定小区(面积为9 m×3.4 m=30.6 m²),试验地周围设置1 m保护行,设置单施氮肥(T0)和不施氮对照组(N0)为对照、有机肥替代化肥氮20%(T20),40%(T40),60%(T60),80%(T80),100%(T100)共7个处理,每个处理重复3次,其中各小区氮素总用量(N)为210 kg/hm²,磷素总用量(P₂O₅)为120 kg/hm²,钾素总用量(K₂O)为75 kg/hm²,有机肥的用量根据各处理有机肥替代化学氮肥量数量除以有机肥中氮素总含量折算而来,化学磷钾肥的用量根据各小区氮磷钾的设计施用总含量扣除有机肥带入的磷钾后折算而来;有机肥和化肥以基肥形式一次性施入,灌溉、病虫害防治和除草等按照当地高产管理措施进行,每个小区施肥量如表1所示.

表1 不同处理化肥量投入量

Tab.1 Amount of fertilizer input for different treatments

处理	有机肥含量/ (kg·hm ⁻²)	化肥含量/(kg·hm ⁻²)			处理	有机肥含量/ (kg·hm ⁻²)	化肥含量/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	KCl			N	P ₂ O ₅	KCl
N0	0	0	150	75	T60	3 783	85	98	53
T0	0	210	120	75	T80	5 046	42	91	45
T20	1 259	179	113	67	T100	6 305	0	84	38
T40	2 521	127	106	61					

1.3 样品测定与数据分析

干物质量采用烘干法;玉米的穗长、穗粗、穗粒数采用测定法;在成熟期采用有代表性的15穗玉米穗,待风干后考种,测定籽粒质量、穗粒数、百粒质量,以14%的含水量折算为产量.玉米功能叶SPAD值采用SPAD-502型叶绿素计测定法;玉米功能叶的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率采用Li-6400便携式光合仪测定.土壤样品采用5点取样法,测定容重采用环刀法;pH值使用复合电极法(1.0:2.5水土质量比);含水量使用烘干法;土壤氮、磷、钾含量:测定土壤全氮使用浓硫酸消煮法(硫酸消煮,碱化后蒸馏定氮);土壤速效磷使用钼锑抗比色法(0.5 mol/L NaHCO₃浸提);土壤速效钾使用火焰光度法(1 mol/L NH₄OAC浸提).

利用Excel 2016和Origin 8.0软件对试验数据进行整理和作图;采用SPSS 22.0进行统计分析,最小显著差数法(LSD)和Duncan法进行差异显著性检验($P<0.05$).

2 结果与分析

2.1 有机替代对玉米产量及其构成因子和干物质量的影响

由表2可知,随着有机肥替代比例的增加,穗行数、行粒数、穗长、穗粗、百粒质量以及产量呈升后降的趋

势,其中大多处理均以替代比例 60%处理的数值最高.与 T0 相比,替代比例 20%~100%处理的穗行数、穗粗、百粒质量及产量总体上分别增加了 1.11%~6.78%、1.62%~5.08%、5.86%~11.94%、9.60%~21.87%.行粒数、穗长有所降低,且 N0 处理与有机肥相比均呈显著降低的结果,穗行数、行粒数、穗长、穗粗、百粒质量、产量各自降低了-1.96%、8.09%、5.10%、2.31%、5.35%、0.50%.

表 2 不同处理玉米产量及构成因子

Tab. 2 Maize yield and constituent factors for different treatments

处理	穗行数/(行·穗 ⁻¹)	行粒数/(粒·行 ⁻¹)	穗长/cm	穗粗/cm	百粒质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)
N0	15.03±0.45 ^a	32.26±0.54 ^a	17.48±0.21 ^a	4.23±0.52 ^a	24.57±1.28 ^a	7 241±125 ^b
T0	15.33±1.84 ^a	35.10±4.04 ^a	18.42±1.84 ^{bc}	4.33±0.50 ^{ab}	25.96±0.69 ^a	7 278±459 ^b
T20	15.97±2.31 ^{ab}	33.47±2.60 ^a	17.80±1.83 ^{ab}	4.24±0.49 ^a	28.15±0.78 ^b	7 977±616 ^{ab}
T40	15.26±1.24 ^a	34.94±3.95 ^a	18.89±1.51 ^c	4.40±0.46 ^{ab}	29.06±1.14 ^c	8 272±810 ^{ab}
T60	15.97±1.66 ^{ab}	35.06±3.16 ^a	18.21±1.89 ^{abc}	4.53±0.43 ^b	28.30±0.80 ^{bc}	8 869±810 ^a
T80	16.37±2.03 ^b	35.20±3.56 ^a	17.28±1.90 ^a	4.51±0.39 ^b	27.88±1.00 ^b	8 464±526 ^{ab}
T100	15.50±1.74 ^{ab}	33.67±3.33 ^a	17.78±1.53 ^{ab}	4.55±0.38 ^b	27.48±0.84 ^b	8 302±296 ^{ab}

注:相同小写字母代表差异不显著,不同小写字母代表差异显著,下同.

由图 1 可知,不同处理的玉米生物量在同一生育时期,随着有机肥替代比例的增加,均呈先升后降趋势,其中各时期均以替代比例为 60%处理增加最为显著.在拔节期、吐丝期、成熟期间,与 T0 相比,不同有机肥替代化肥氮对玉米生物量分别增加了 9.15%~37.98%, 5.47%~20.49%和 5.19%~17.39%.且 N0 处理与有机肥相比,各生长期的生物量均有所降低,3 个生长期内分别降低了 4.64%,13.32%和 5.32%.

2.2 有机替代对玉米植株光合作用的影响

由图 2 可知,不同处理的玉米功能叶 SPAD 值随着生育期的推移,均有显著升高.在拔节期,与 T0 进行对比,不同比例有机肥替代化肥处理后的功能叶 SPAD 值分别提升了 13.22%~52.20%,其中替代比例为 40%、60%、80%时分别显著增加了 39.66%、52.20%和 37.63%.而在吐丝期,与单施化肥相比,不同比例的有机肥替代化肥处理后的功能叶 SPAD 值分别提升了 4.91%~18.30%,其中替代比例为 40%、60%差别最为显著,增幅分别为 13.58%及 18.30%.

由图 3 可知,玉米随着生育期的推移,净光合速率,气孔导度,蒸腾作用均处于上升趋势,各时期均以替代比例为 60%处理增幅最大.在拔节期,与 T0 相比,有机肥替代化肥各处理组净光合速率、气孔导度与蒸腾作用分别增加了 5.63%~40.87%、5.56%~27.78%与 9.22%~47.09%,其中增幅最大的均为 60%处理.此外,N0 处理的玉米净光合速率、气孔导度与蒸腾作用均有所降低,降幅分别为-16.53%、-5.56%、-14.56%.在玉米吐丝期,与 T0 相比,有机肥替代化肥各处理组净光合速率、气孔导度与蒸腾作用分别提升

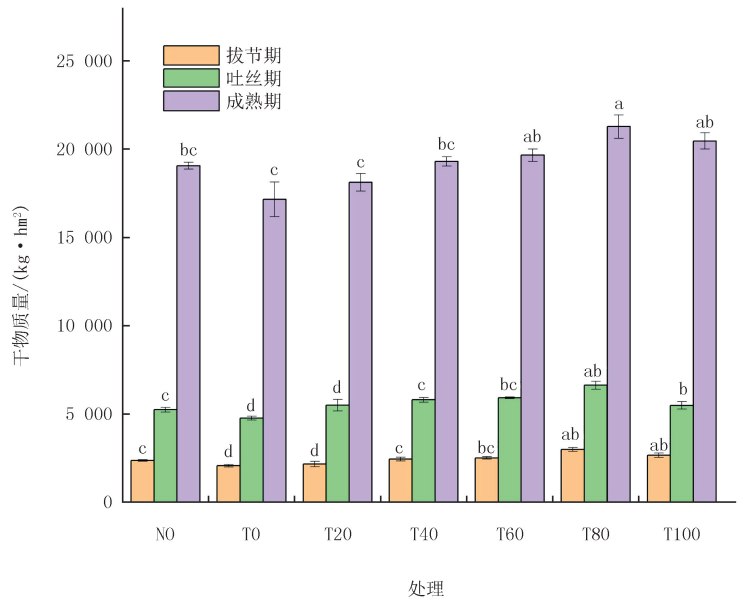


图1 各生育期玉米干物质量

Fig. 1 Maize dry matter weight in each growth period

了 11.83% ~ 27.67%、9.09% ~ 40.91%、4.45% ~ 32.88%，最为显著的为替代比例为 60% 处理，同时替代比例为 100% 处理的气孔导度有小幅降低，降幅为 -4.55%。此外，N0 处理的净光合速率、气孔导度与蒸腾作用均有所降低，降幅分别为 -15.15%、-9.09%、-6.51%。

2.3 有机替代对玉米植株养分积累的影响

由表 3 可知，玉米植株氮素积累量在拔节期较低，在吐丝期大幅度增高，增幅最大，成熟期积累量最高；施用有机肥处理氮素含量均高于单施化肥 (T0) 处理，施用有机肥处理的植株氮素积累量较单施化肥处理 (T0) 在拔节期、吐丝期、成熟期分别增加了 19.5% ~ 60.9%、6.1% ~ 34.7%、5.2% ~ 31.7%，其中随替代比例增加，氮素积累量呈现先升高后降低的趋势，均以替代比例为 60% 时最大；不施氮 (N0) 处理的氮含量在各个时期均显著低于其他处理，数值最低。

玉米磷素积累量在拔节期较低，在吐丝期迅速升高，增幅较大，成熟期积累量最大，较拔节期增幅较小；施用有机肥处理的磷素积累量均高于单施化肥 (T0) 处理，在拔节期、吐丝期、成熟期较单施化肥处理 (T0) 显著增加了 11.1% ~ 133.3%、3.1% ~ 34.3%、4.7% ~ 40.4%；其中随替代比例增加，各时期磷积累量均呈现先增加后降低趋势，其中各个时期均以替代 60% 比例时含量最高；不施氮处理的磷元素积累量显著低于其他处理，数值最低。

玉米钾元素积累量随生育期推移增长，在吐丝期增长较为明显，增幅不大，在成熟期达到最大值，成熟期与吐丝期钾元素积累量差异较小；施用有机肥处理钾元素积累量略高于单施化肥处理 (T0)，在拔节期、吐丝期、成熟期分别增加了 3.8% ~ 12.8%、1.7% ~ 25.2%、3.10% ~ 21.37%；其中随替代比例增加各时期钾元素积累量呈现先升高后降低的趋势，以替代比例为 60% 时积累最高；不施氮处理的钾元素积累量显著低于其他处理，积累量最低。

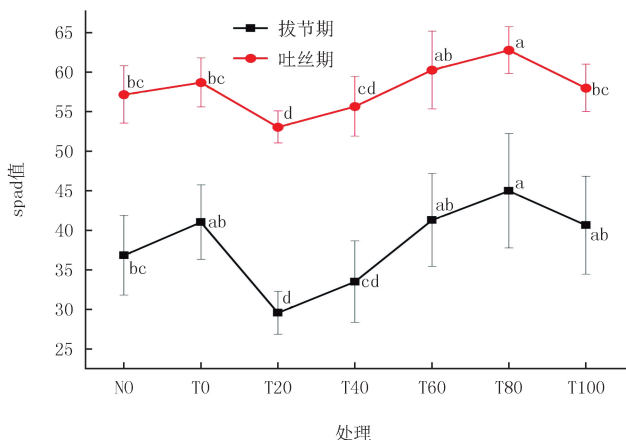


图2 拔节期、吐丝期玉米功能叶SPAD值

Fig.2 SPAD value of maize by period

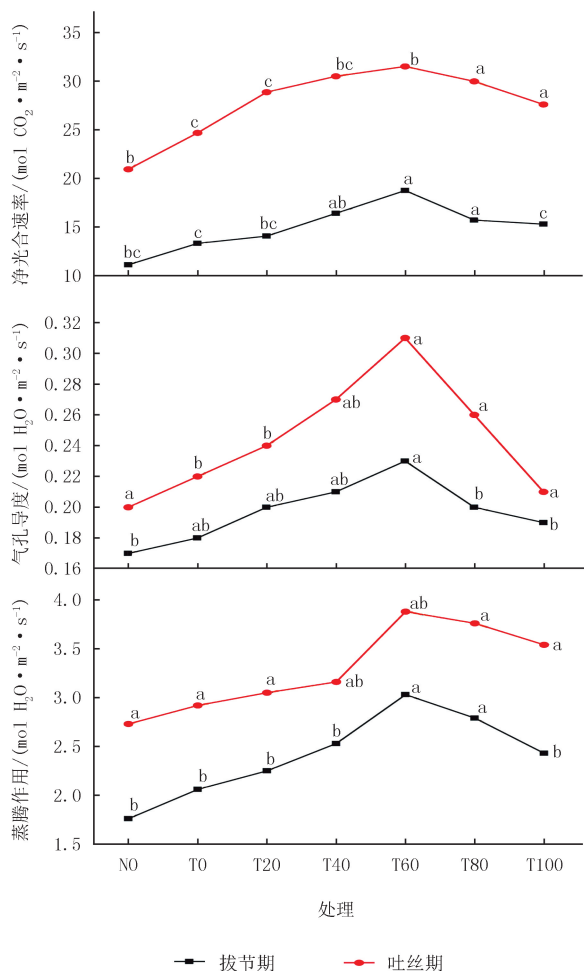


图3 各生育期玉米净光合速率、气孔导度和蒸腾作用

Fig.3 Maize net photosynthetic rate, maizestomatal conductance and maize transpiration

2.4 有机替代对玉米土壤理化性状的影响

由表 4 可知,施用有机肥可降低土壤容重,与单施化肥(T0)处理相比,施用有机肥处理的土壤容重降低了 7.43%~22.20%;施用有机肥可增加土壤 pH 值,与单施化肥(T0)处理相比,施用有机肥处理土壤 pH 值增加了 0.42%~5.69%;施用有机肥可增加土壤含水量,与单施化肥(T0)处理相比,施用有机肥处理土壤含水量增加了 0.81%~21.10%;施用有机肥可增加土壤有机质含量,与单施化肥(T0)处理相比,施用有机肥处理的土壤有机质含量增加了 12.3%~46.6%.

表 3 玉米各生育期植株氮、磷、钾元素积累量

Tab. 3 Phosphorus accumulation in maize plants at various stages

kg/hm²

元素	处理	拔节期	吐丝期	成熟期
氮含量	N0	40.06±3.25 ^b	108.36±2.78 ^b	182.15±2.99 ^b
	T0	41.56±2.88 ^b	115.11±3.77 ^b	189.82±5.23 ^b
	T20	49.72±3.26 ^{ab}	123.83±4.98 ^b	218.02±5.13 ^b
	T40	54.06±1.88 ^{ab}	133.13±5.25 ^{ab}	227.03±2.96 ^{ab}
	T60	66.86±3.92 ^{ab}	144.47±4.63 ^a	249.41±2.14 ^{ab}
	T80	62.79±3.77 ^a	130.23±2.88 ^{ab}	213.37±5.34 ^a
	T100	50.87±2.29 ^{ab}	122.09±2.47 ^{ab}	199.74±1.42 ^{ab}
磷含量	N0	8.52±0.63 ^b	27.32±2.08 ^b	37.15±1.07 ^b
	T0	9.24±0.79 ^b	32.57±1.19 ^b	42.98±1.33 ^b
	T20	10.39±0.79 ^b	35.12±0.91 ^{ab}	50.05±1.57 ^b
	T40	15.74±1.25 ^{ab}	37.99±1.36 ^{ab}	52.16±1.81 ^{ab}
	T60	21.67±1.26 ^a	43.35±1.33 ^{ab}	59.49±2.31 ^{ab}
	T80	20.21±0.94 ^{ab}	34.37±1.25 ^a	48.02±1.34 ^a
	T100	15.94±1.26 ^{ab}	33.03±1.75 ^{ab}	44.33±1.27 ^{ab}
钾含量	N0	72.88±3.44 ^b	108.71±12.79 ^b	117.81±13.89 ^b
	T0	78.01±1.73 ^b	115.88±13.86 ^b	131.07±13.96 ^b
	T20	81.22±1.27 ^b	123.15±12.98 ^{ab}	135.75±13.49 ^b
	T40	83.54±1.91 ^{ab}	125.18±12.82 ^{ab}	138.52±13.82 ^{ab}
	T60	88.08±2.18 ^{ab}	144.74±15.11 ^{ab}	159.83±14.19 ^a
	T80	86.13±2.28 ^a	126.29±13.73 ^a	140.95±13.36 ^{ab}
	T100	82.41±1.24 ^{ab}	117.66±18.37 ^{ab}	135.02±19.54 ^{ab}

表 4 玉米成熟期土壤物理性状

Tab. 4 Soil physical traits during maize season

处理	容质量/(g·cm ⁻³)	pH 值	含水质量分数/%	有机质质量分数/(g·kg ⁻¹)
N0	1.15±0.07 ^a	4.82±0.07 ^a	13.48±0.73 ^a	20.06±1.02 ^a
T0	1.37±0.06 ^a	4.63±0.15 ^a	12.24±0.62 ^a	15.48±2.34 ^a
T20	1.48±0.08 ^a	4.74±0.52 ^a	12.39±0.96 ^a	17.14±2.52 ^a
T40	1.32±0.02 ^a	4.79±0.24 ^a	14.19±0.51 ^a	20.45±3.86 ^a
T60	1.34±0.05 ^a	4.76±0.26 ^a	13.26±0.73 ^a	19.29±1.97 ^a
T80	1.26±0.14 ^a	4.85±0.13 ^a	15.01±1.96 ^a	25.13±5.82 ^a
T100	1.36±0.03 ^a	5.01±0.23 ^a	12.49±1.31 ^a	24.16±4.13 ^a

在玉米生长各个生育期均以施用有机肥处理土壤全氮含量最高,以替代比例为60%时最大,在作物成熟期时替代比例为60%处理土壤全氮含量显著高于其他处理,含量最大;在玉米生长各个生育期,施用有机肥处理土壤速效磷含量均高于不施用化肥处理,随替代比例增加土壤速效磷含量呈先升高后降低趋势,以替代比例为60%时含量最大;在玉米生长各个生育期,施用有机肥处理土壤速效钾含量均高于不施用化肥处理,随替代比例增加土壤速效钾含量呈先升高后降低趋势,以替代比例为60%时含量最大,结果见表5。

表5 玉米各生育期土壤全氮、速效磷、速效钾含量表

Tab. 5 Soil total nitrogen, available phosphorus and available potassium content in maize at different periods kg/hm²

元素	处理	拔节期	吐丝期	成熟期
玉米各时期土壤全氮含量	N0	0.64±0.05 ^d	0.66±0.01 ^e	0.64±0.03 ^c
	T0	0.84±0.03 ^c	0.78±0.03 ^d	0.76±0.04 ^b
	T20	0.86±0.04 ^{bc}	0.85±0.03 ^{cd}	0.77±0.05 ^b
	T40	0.92±0.03 ^{ab}	0.72±0.04 ^{ab}	0.78±0.05 ^b
	T60	0.99±0.04 ^a	0.89±0.03 ^a	1.08±0.04 ^a
	T80	0.95±0.04 ^a	0.81±0.03 ^{bc}	0.82±0.03 ^b
	T100	0.95±0.03 ^a	0.74±0.04 ^d	0.77±0.03 ^b
玉米各时期植株磷素含量	N0	40.45±13.14 ^d	59.15±17.81 ^c	43.53±6.72 ^c
	T0	62.82±6.03 ^c	93.78±8.03 ^c	58.65±7.55 ^d
	T20	68.37±6.72 ^{bc}	59.73±9.22 ^c	64.2±6.03 ^{cd}
	T40	79.16±5.58 ^{ab}	58.25±7.55 ^b	78.06±8.87 ^{bc}
	T60	85.77±6.71 ^a	117.02±7.67 ^a	93.59±8.43 ^a
	T80	82.41±8.37 ^{ab}	71.81±6.39 ^c	68.47±9.21 ^{ab}
	T100	61.01±7.22 ^c	60.47±8.82 ^c	81.94±10.88 ^{cd}
玉米各时期植株钾素含量	N0	143.9±23.1 ^d	152.78±6.94 ^d	142.78±25.02 ^c
	T0	201.11±8.39 ^c	200.56±11.71 ^c	215.56±10.05 ^b
	T20	262.78±11.71 ^b	241.11±11.71 ^c	228.33±9.28 ^b
	T40	281.11±10.05 ^{ab}	188.33±10.93 ^b	233.33±13.33 ^b
	T60	295±16.67 ^a	265.56±13.47 ^a	266±7.94 ^a
	T80	278.89±11.71 ^{ab}	197.78±9.48 ^{ab}	209.44±13.37 ^a
	T100	217.22±12.51 ^c	250±13.33 ^c	261.67±12.58 ^b

3 讨论

3.1 有机替代对玉米产量及其构成因子、干物质质量的影响

现有研究表明,施用有机肥可以提升土壤肥力,增加氮肥的利用率,有助于作物干物质的积累和提高作物产量及品质,研究表明施用商品有机肥可显著提高春玉米产量^[13],本研究中,施用有机肥处理的玉米干物质质量、产量均高于单施化肥处理,以有机肥替代60%的化肥氮处理时,干物重和产量最大,与前人研究结果略有不同,国内外学者对有机肥替代化肥的比例进行了探究,可能是由于有机肥的养分与化肥养分的肥效和作用时间不同,施用有机肥种类、气候环境、基础地力等不同造成^[14],本研究中,玉米干物质质量、产量随替代比例的增加呈先升高后降低的趋势,已有研究也发现单施有机肥时土壤中的有效氮成为作物高产的主要限制因素^[15],可能是由于有机肥施入土壤中后释放养分需要经过微生物的矿化分解,而微生物的数量和活性与土壤肥力、土壤湿度、温度等环境因子又密切相关^[16],土壤微生物的生长、繁殖与作物生长形成竞争养分

的关系,这将直接影响作物对养分的吸收,从而影响作物产量.因此以有机肥与化肥配施时,干物质量与产量最大,效果最佳.有机肥富含丰富的有机质和营养元素,施用有机肥可增加土壤中的养分,有助于作物对养分的吸收,故施用有机肥可增加产量.但有机肥具有缓释性,肥效发挥时间较长,因此随替代比例增加,当替代比例为100%时,即全部施用有机肥时,因有机肥发挥作用需要时间,在作物生长的前期有机肥的肥效不能完全释放,不能及时为作物前期生长提供所需的充足养分,作物产量反而会下降.因此随替代比例增加,产量呈先升高后降低趋势,以替代比例为60%时,产量最大.

3.2 有机替代对玉米植株光合作用的影响

光合作用的产物是影响玉米产量的重要因素,研究表明有机肥与化肥配施,可以增加作物的光合作用,提升产量^[17].本试验中施用有机肥处理的光合指标均优于单施化肥处理,有机与无机配施的处理光合指标又优于单施用有机肥处理,是由于施肥能够提高作物的光合作用强度,促进作物叶片的生长和发育^[18].玉米的穗位叶是关键源器官,其生理变化可引起整个植株生理代谢的变化,影响籽粒发育并最终作用于产量^[19],其中替代比例为60%时光合指标最强,与该处理产量最大形成对应.而其中不施氮处理的玉米功能叶 SPAD 值较高,与其他处理无明显规律,这可能与试验田基础地力不平有关.

3.3 有机替代对玉米植株养分积累的影响

植株的养分吸收是形成干物质的基础,进而对产量造成影响,本研究发现,施用有机肥处理在玉米植株氮养分积累量在吐丝期速率最大,在成熟期积累量最高,可能是由于有机肥改善了土壤的供氮特性^[20],促进了作物对氮素的吸收^[21];施用有机肥导致玉米植株磷积累量均以成熟期吸收速率大,积累量多,可能是由于有机肥分解产生的有机酸可促进氮的吸收^[22]以及磷素从无效磷到有效磷的转化;而施用有机肥的玉米的钾养分含量则与氮、磷不同,随生育期逐步增长,在吐丝期、成熟期均有增长,可能是由于钾肥作为底肥一次性投入田间,且试验田本身速效钾含量较高,所以对钾素的吸收和转化速率没有造成影响;此外,有机肥养分释放速度较缓,施用有机肥的肥效不能在当季进行完全释放,对玉米植株养分吸收也会产生影响,因此不同处理间也存在差异.

3.4 有机替代对玉米土壤理化性状的影响

已有研究表明,旱地施用有机肥具有明显的培肥作用和蓄水保墒效果,施用鸡粪、猪粪能提高土壤 pH 值,避免土壤酸化^[23].有机、无机配施可不同程度地降低土壤容重并提高其孔隙度,长期施用生物有机肥可显著提高土壤有机质含量,提升土壤肥力.本研究中施用有机肥可降低土壤容重,提升 pH 值,增大土壤含水量,对于土壤性状起到了好的改良作用.虽然土壤指标的数值显示有所变化,但改良的幅度较小,没有达到显著的差异水平,这可能与施用有机肥年限较短有关.但从数值来看,土壤基础理化性质的指标仍呈向好的趋势.

4 结论与展望

在豫南砂姜黑土区夏玉米种植中,以商品有机肥替代60%化肥氮并在玉米季一次性施用方案下,玉米的光合作用最强,植株养分含量、干物质量、产量最大,各项指标均随替代比例增加呈先升高后降低趋势;同时可以增加土壤氮磷钾含量,改良土壤理化性质,均以替代比例为60%时,效果最佳,为最佳替代比例.由于本试验周期较短,对于土壤的改良效果虽不明显,但总体趋势较好.

参 考 文 献

- [1] ZHANG X, DAVIDSON E A, MAUZERALL D L, et al. Managing Nitrogen for Sustainable Development[J]. Nature, 2015, 528(7580): 51-59.
- [2] CUI Z L, YUE S C, WANG G L, et al. Closing the Yield Gap could Reduce Projected Greenhouse Gas Emissions: A Case Study of Maize Production in China[J]. Glob Chang Biol, 2013, 19: 2467-2477.
- [3] YANG Q, ZHENG F, JIA X, et al. The Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers Increases Soil Organic Matter and Improves Soil Microenvironment in Wheat-maize Field[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(5): 2395-2404.
- [4] 于衷浦, 杨浩鹏, 纪利成, 等. 化肥减量配施生物炭基肥对玉米产量及土壤温室气体排放特征的影响[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(5): 742-749.

- YU Z P, YANG H P, JI L C, et al. Effects of biochar-based fertilizer addition on maize yield and greenhouse gas emission characteristics [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2022, 56(5): 742-749.
- [5] 蒿宝珍, 马静丽, 董嘉强, 等. 不同耐旱性玉米品种叶片光合特性和产量对干旱胁迫的响应[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(6): 29-37.
- HAO B Z, MA J L, DONG J Q, et al. Response of leaf photosynthesis characteristics and yield of maize hybrids differing in drought tolerance to drought stress[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2022, 50(6): 29-37.
- [6] WU H, GE Y. Excessive application of fertilizer, agricultural non-point source pollution, and farmers' policy choice[J]. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1165.
- [7] 黄涛, 荣湘民, 刘强, 等. 不同施肥模式对春玉米产量、品质与氮肥利用及玉米地氮流失的影响[J]. *土壤*, 2010, 42(6): 915-919.
- HUANG T, RONG X M, LIU Q, et al. Effects of different organic fertilization modes on yield, quality, fertilizer nitrogen utilization of spring maize and nitrogen loss from field[J]. *Soils*, 2010, 42(6): 915-919.
- [8] 温延臣, 张白东, 袁亮, 等. 商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(11): 2136-2142.
- WEN Y C, ZHANG Y D, YUAN L, et al. Crop yield and soil fertility response to commercial organic fertilizer substituting chemical fertilizer[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(11): 2136-2142.
- [9] 高洪军, 朱平, 彭杨, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(2): 318-325.
- GAO H J, ZHU P, PENG C, et al. Effects of partially replacement of inorganic N with organic materials on nitrogen efficiency of spring maize and soil inorganic nitrogen content under the same N input[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(2): 318-325.
- [10] 谢军, 赵亚南, 陈轩敬, 等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(20): 3934-3943.
- XIE J, ZHAO Y N, CHEN X J, et al. Nitrogen of organic manure replacing chemical nitrogenous fertilizer improve maize yield and nitrogen uptake and utilization efficiency[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(20): 3934-3943.
- [11] 李占, 丁娜, 郭立月, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对冬小麦、夏玉米生长、产量和品质的影响[J]. *山东农业科学*, 2013, 45(7): 71-77.
- LI Z, DING N, GUO L Y, et al. Effects of different ratios of organic manure and chemical fertilizer on growth, yield and quality of winter wheat and summer maize[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(7): 71-77.
- [12] 周芸, 李永梅, 范茂攀, 等. 有机肥等氮替代化肥对红壤团聚体及玉米产量和品质的影响[J]. *作物杂志*, 2019(4): 125-132.
- ZHOU Y, LI Y M, FAN M P, et al. Effects of nitrogen in organic manure replacing chemical nitrogenous fertilizer on aggregates of red soil, maize yield and quality[J]. *Crops*, 2019(4): 125-132.
- [13] ADEDIRAN J A, TAIWO L B, AKANDE M O, et al. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2007, 27(7): 1163-1181.
- [14] KOMAKECH A J, ZURBRÜGG C, SEMAKULA D, et al. Evaluation of the Performance of Different Organic Fertilizers on Maize Yield: A Case Study of Kampala, Uganda[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2015, 7(11): 1-11.
- [15] HUI L I, FENG W, HE X, et al. Chemical Fertilizers Could be Completely Replaced by Manure to Maintain High Maize Yield and Soil Organic Carbon(SOC) When SOC Reaches a Threshold in the Northeast China Plain[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(4): 937-946.
- [16] CHANG E H, CHUNG R S, TSAI Y H. Effect of Different Application Rates of Organic Fertilizer on Soil Enzyme Activity and Microbial Population[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 132-140.
- [17] XU H L. Effects of a Microbial Inoculant and Organic Fertilizers on the Growth, Photosynthesis and Yield of Sweet Corn[J]. *Journal of Crop Production*, 2001, 3(1): 183-214.
- [18] EFTHIMIADOU A, BILALIS D, KARKANIS A, et al. Effects of Cultural System(organic and conventional) on Growth, Photosynthesis and Yield Components of Sweet Corn(*Zea mays L.*) Under Semi-arid environment[J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2009, 37(2): 104-111.
- [19] ISLAM M R, HAQUE K M S, AKTER N, et al. Leaf Chlorophyll Dynamics in Wheat Based on SPAD Meter Reading and Its Relationship With Grain Yield[J]. *Journal of Scientia Agriculture*, 2014, 8(1): 13-18.
- [20] 朱秀红, 张梦霄, 崔明康, 等. 不同生物炭种类和用量对镉胁迫下小麦幼苗光合特性和镉积累的影响[J/OL]. *河南农业大学学报*. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20230111.001>.
- ZHU X H, ZHANG M X, CUI M K, et al. Effects of biochar application on photosynthetic characteristics and cadmium accumulation in wheat under cadmium stress[J/OL]. *Journal of Henan Agricultural University*. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20230111.001>.
- [21] 刘佩诗, 黄瑜, 甘曼琴, 等. 茶园土壤有机肥施用效应和施肥技术[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(2): 306-311.
- LIU P S, HUANG Y, GAN M Q, et al. Application effect and fertilization technology of organic fertilizer in tea garden soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(2): 306-311.
- [22] 孟超然, 白如霄, 候建伟, 等. 有机肥替代部分化肥对干旱区滴灌玉米养分吸收及产量影响[J]. *土壤*, 2020, 52(4): 750-757.
- MENG C R, BAI R X, HOU J W, et al. Effects of organic materials partially substituting chemical fertilizer on nutrient uptake and yield of

maize under drip irrigation in arid region[J].Soils,2020,52(4):750-757.

[23] 宣可凡,李晓鹏,张佳宝,等.有机物料改良土壤结构及其定量化研究方法综述[J].灌溉排水学报,2023,42(2):95-102.

XUAN K F,LI X P,ZHANG J B,et al.Improving soil structure by organic material amendments;a review[J].Journal of Irrigation and Drainage,2023,42(2):95-102.

Effects of organic fertilizers and other nitrogen replacements for chemical fertilizers on the growth and soil physico chemical properties of summer maize in the black soil area of sand ginger in southern Henan

Chai Shan, Li Qingsong, Gao Huishan, Zhang Zekun, Zhang Jincai

(College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Replacing some chemical fertilizers with organic fertilizers is one of the fundamental technical approaches to achieving zero growth in the use of inorganic fertilizers in China. The field experiment was carried out under the condition of Shajiang black soil in southern Henan, and the summer corn Yudan 132 was used as the experimental material. Using commercial organic fertilizers and other nitrogen to replace chemical fertilizers, the effects of organic fertilizers and other nitrogen replacements on summer maize's growth and soil's physical and chemical properties were studied. Among them, the standard application of chemical fertilizers and no application of nitrogen fertilizers were set as controls, and 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% of the amount of nitrogen replaced by organic fertilizers were set as 7 experimental groups. The research results mainly include that the yield of organic fertilizer application was higher than that of chemical fertilizer application alone. With the organic fertilizer replacement ratio increase, the corn yield increased first and then decreased. Compared with the single application of chemical fertilizers, when 60% of chemical fertilizers are replaced with organic fertilizers and other nitrogen, the following effects will be produced: First, the yield and dry matter weight of corn was the largest, increasing by 21.87% and 17.39% respectively. Second, the photosynthesis of maize plants was the strongest, and its SPAD value, net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration increased by 18.3%, 27.67%, 40.91%, and 32.88%, respectively. Third, corn plants have the highest NPK content. Fourth, when organic fertilizers are applied, the content of nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil will increase, the soil bulk density will decrease from 7.43% to 22.2%, the soil pH value will increase from 0.42% to 5.69%, the soil moisture content will increase from 0.81% to 21.1%, and soil organic matter content will increase from 12.3% to 46.6%. The research results show that when organic fertilizers replace 60% of chemical fertilizers with the same amount of nitrogen, the content of soil organic matter increases, and the photosynthesis of corn plants is enhanced, which helps to improve the physical and chemical properties of the soil, promoting the accumulation and transfer of crop nutrients, and thus increasing the yield. The conclusions can provide data reference and experience for combining organic fertilizer and chemical fertilizer in summer maize production in southern Henan's Shajiang black soil area.

Keywords: agricultural area of southern Henan; sand ginger black soil; summer corn; organic fertilizer instead of chemical fertilizer

[责任编辑 刘洋 杨浦]