



孙思淼, 王晓军, 高洪生. 液体厩肥替代化肥对玉米生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2024(1):17-22.

液体厩肥替代化肥对玉米生长及产量的影响

孙思淼, 王晓军, 高洪生

(黑龙江省肥料工程技术研究中心/黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部东北平原农业环境重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为了改善农业用地品质,促进作物生长及农业可持续发展,采用田间试验研究不同比例液体厩肥替代化肥对玉米生长和产量的影响。结果表明,增施液体厩肥 $45\sim 90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,可减少 $25\%\sim 50\%$ 化肥用量,玉米增产 $2.76\%\sim 6.04\%$;其中减 10% 化肥+液体厩肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理玉米产量最高,达到 $11\,278.51\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮肥利用率为 32.57% 。综上,液体厩肥和化肥配施可提高土壤含水率和温度,还能提高玉米的生物量和产量,可作为东北北部春玉米增产和养分平衡的合理施肥模式。

关键词:有机肥;秸秆还田;玉米;产量

随着我国经济和农业的迅速发展,化肥用量以 4.0% 的增长速度逐年递增^[1]。长期过量施用化肥引起了广泛关注,它会产生土壤退化、面源污染和资源浪费等问题^[2],严重影响农业生态和食品安全^[3]。有机肥替代化肥是农业减肥增效绿色生产的重要措施^[4]。有研究表明,有机肥中含有的养分通常可以被植物直接吸收利用,在改善农田土壤理化性质,提高作物生产力,减轻环境污染

等方面具有积极影响,具有种类繁多和易获取等优点,被广泛应用在农业生产中^[5-6]。化肥见效更快,其与有机肥二者进行适量配施,既充分利用了肥料资源,又改善了土壤质量,达到作物高产、稳产的效果^[7],是一种高效可持续的施肥制度。

当前我国畜禽粪便年产生量约 38 亿 t ,综合利用率约为 60% 左右^[8]。但是不合理的处理不仅会造成资源浪费,也会成为农业污染源。畜禽粪

收稿日期:2023-09-26

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”农业特色产业科技创新支撑项目(XC23TS25)。

第一作者:孙思淼(1996—),女,硕士,研究实习员,从事修复生态学研究。E-mail:550456722@qq.com。

通信作者:高洪生(1968—),男,硕士,研究员,从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:ghs6837@163.com。

Effects of Biochar Applied on Growth, Nutrient Accumulation and Yield of Maize on Saline Alkali Soil in Songnen Plain

WANG Zhihui^{1,2}, LI Xinyu¹, LI Jinzhe¹, JIAO Zhiqi¹, WANG Tianen¹, SONG Ming¹, WANG Hongyi¹

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Agricultural Products and Processed Products Supervision and Testing Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to explore the optimal application rate of biochar for planting maize on saline alkali soil, a field plot experiment was conducted to study the effects of different application rates ($0, 10, 20, 40, 80\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of biochar on maize growth, nutrient accumulation, and yield. The results showed that, biochar increased the accumulation of dry matter after flowering, promoted the increase of grain filling rate, and enhanced the absorption of nutrients (C, N, P, K) by maize plants and grains, thereby increasing maize yield and improving maize quality. Therefore, in the alkaline maize field of the western Songnen Plain, the application amount of biochar of $40\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ is the most sufficient for nutrient accumulation in the leaves, stems, and sheaths of maize plants, with a long active period of grain filling and the highest maize yield, making it the most economically effective amount.

Keywords: biochar; Songnen Plain; saline alkali soil; maize; plant growth; yield

便中不仅含有丰富的氮磷养分,还可以改善土壤结构,促进土壤保墒保温效果,是一种优质的有机肥^[9]。因此,通过高效发酵畜禽粪肥,将其制成高品质肥料,实行粪肥科学还田,适量替代化肥,对减少农业面源污染、助力农业绿色低碳发展具有十分重要的意义。此外,有研究表明,在秸秆条带还田下化肥减量配施不同有机肥,能够增加东北地区黑钙土中有机碳和速效氮、磷、钾含量,并提高玉米产量^[10]。秸秆还田也是农业生产中替代化肥的主要实现方式,相关研究表明,与单施化肥相比,秸秆还田替代 30%和 60%钾肥,对玉米产量无显著影响^[11]。这些结果说明,采用秸秆和有机肥配合代替化肥在一定程度上可实现改土增产的目标。

本试验针对东北北部春玉米主产区土壤肥力低、化肥用量高、水肥不协调等主要问题,通过粪浆一体化技术,开展高效培肥地力相关技术研究,以施用化肥为对照、设置液体厩肥按比例替代化肥的不同施肥处理,筛选出有机无机肥配施的最

佳比例,明确化肥减施数量和液体厩肥替代的最佳比例范围,从而进一步提高肥料利用效率,构建东北北部春玉米田高效土壤培育及养分平衡施用技术科学体系,为实现我国东北北部春玉米丰产增效、农业可持续发展提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种为金诚 316。供试肥料为玉米专用肥(12-16-17)大颗粒尿素(N 46%)、二铵(N 18%, P₂O₅ 46%)、氯化钾(K₂O 60%)、重钙(P₂O₅ 44%)、液体厩肥(N 0.33%, P₂O₅ 0.21%, K₂O 0.24%)。

1.2 方法

1.2.1 液体厩肥替代化肥试验 采用小区对比试验,于 2019 年 4 月在哈尔滨市双城区长产村(45°41'N,126°37'E)进行,地处松嫩平原腹部,松花江南岸,处于第一积温带,中温带大陆性季风气候。土壤类型为草甸黑土,基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

全氮/%	全磷/%	全钾/%	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH
0.221	0.072	2.24	175.0	46.1	300	36.7	5.80

试验设 5 个处理,3 次重复,随机区组排列。注入式施用液体厩肥后旋耕,平地播种,种肥分离。CK(常规施肥处理,18.4-6.4-6.8):底肥复合肥(12-16-17)600 kg·hm⁻²,大喇叭口期追施 450 kg·hm⁻² 尿素;T1(优化配方施肥,16-5-5):底肥掺混肥(7.5-5.0-5.0)472.5 kg·hm⁻²,大喇叭口期追施 300 kg·hm⁻² 尿素;T2(替代 25%化肥),液体厩肥 45 t·hm⁻² + 75% T1;T3(替代 50%化肥):液体厩肥 90 t·hm⁻² + 50% T1。

1.2.2 液体厩肥不同施用量试验 试验设 4 个处理,3 次重复。L1:液体厩肥 90 t·hm⁻²;L2:液体厩肥 150 t·hm⁻²;L3:液体厩肥 225 t·hm⁻²;L4:液体厩肥 300 t·hm⁻²。

1.2.3 液体厩肥梯度替代化肥试验 试验采用大区对比试验,无重复,每处理约 3.33 hm²。CK1:不施氮肥;CK2:常规施肥;H1:优化配方施肥;H2:替代 10%化肥 + 液体厩肥 30 t·hm⁻²;H3:替代 20%化肥 + 液体厩肥 60 t·hm⁻²;H4:替代 30%化肥 + 液体厩肥 90 t·hm⁻²(表 2)。

表 2 液体厩肥梯度替代化肥试验设计

单位:t·hm ⁻²								
处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	尿素	二铵	氯化钾	重钙	
CK1	基肥	—	78	72	—	—	120	177.73
	追肥	—	—	—	—	—	—	—
CK2	基肥	36	92	90	—	200	150	—
	追肥	184	—	—	400.00	—	—	—
H1	基肥	42	78	72	24.78	170	120	—
	追肥	138	—	—	300.00	—	—	—
H2	基肥	42	78	72	24.78	170	120	—
	追肥	120	—	—	260.87	—	—	—
H3	基肥	42	78	72	24.78	170	120	—
	追肥	102	—	—	221.74	—	—	—
H4	基肥	42	78	72	24.78	170	120	—
	追肥	84	—	—	182.61	—	—	—

1.2.4 田间管理 播种:机械播种,株距 23 cm,保苗 67 500 株·hm⁻² 以上,单行种植。施肥播种时,保持化肥与种子间距 5~8 cm,种子覆土 3~5 cm。

封闭除草:乙草胺(杂草出土前施药,施药前后土壤宜保持湿润)。

穗期追肥:大喇叭口期追施速效氮肥,在行侧距植株 10~15 cm 施肥,深度为 10~20 cm,肥带宽度大于 3 cm,无明显断条,施肥后覆盖严密。追肥时配合中耕培土,高度 7~8 cm。

病虫害防治:在大喇叭口期与抽雄初期结合防治。

收获管理:机械收获采用自走式收割机,确保收获籽粒损失率≤2%、果穗损失率≤3%、籽粒破碎率≤1%,秸秆粉碎还田。于 6 月进行生物学调查,10 月收获。

1.2.5 测定项目及方法 在玉米各主要生育期 S 型采集土壤样品,测定土壤田间持水量和温度;测定植株生物学指标、生物量;每个处理随机选 3 点,每点 13.6 m²[长 10.00 m×宽 1.36 m(2 垄)],测定玉米产量及产量构成因素。

1.2.6 数据分析 利用 Excel 2019、SPSS 25.0、Origin 2023 软件对数据进行统计分析和绘制图表。用 Duncan's 新复极差法进行样本间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 液体厩肥替代化肥试验结果

2.1.1 液体厩肥对土壤含水率的影响 由图 1 可知,苗期 T2~T4 与 CK、T1 处理土壤含水率差异显著($P<0.05$),常规施肥和优化施肥处理的土壤含水率相对偏低,低于 5%,而施用液体厩肥处理土壤含水率较高,均超过 10%;降雨后各处理间无显著差异,虽然常规施肥和优化施肥处理仍低于施用液体厩肥处理,但均超过 12%。

2.1.2 液体厩肥对土壤温度的影响 施用液体厩肥也会对土壤温度造成影响。由图 2 可知,苗期和降雨后各处理间土壤温度无显著差异($P>0.05$),与 CK 对比,液体厩肥处理土壤温度普遍低 1~2℃,进而对玉米出苗及生长发育产生一定

影响。因此,土壤温度是影响液体厩肥施用效果的重要因素。

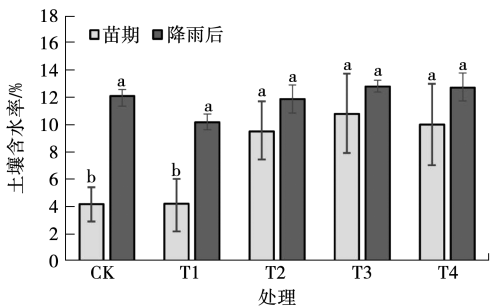


图 1 液体厩肥对玉米苗期和降雨后土壤含水率的影响
注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

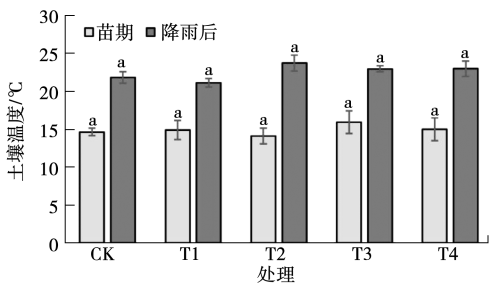


图 2 液体厩肥对玉米苗期和降雨后土壤温度的影响

2.1.3 液体厩肥对玉米农艺性状的影响 通过对各个处理苗期调查情况来看,T1~T3 玉米株高显著高于 CK 处理。茎粗和叶宽均表现为相同趋势,其中 T2、T3 处理较高。T1~T3 处理叶长均显著大于 CK 处理(表 3)。

2.1.4 液体厩肥对玉米生物量的影响 由表 4 可知,T1 和 T2 处理地上部鲜重显著高于 CK 和 T3 处理;各处理根部鲜重无显著差异;T2 处理根部干重显著高于其他处理。说明,施用液体厩肥 45 t·hm⁻² 替代 25% 化肥对促进玉米生长发育有一定影响,显著促进了玉米苗期生长。

表 3 施用液体厩肥对苗期玉米农艺性状的影响

处理	株高/cm	茎粗/mm	叶宽/mm	叶长/cm
CK	12.53±2.00 b	2.67±0.21 a	12.33±0.06 a	10.97±0.21 b
T1	14.07±0.64 a	3.21±0.26 a	14.33±0.06 a	12.57±0.71 a
T2	14.63±1.32 a	3.37±0.87 a	14.01±0.35 a	13.33±0.71 a
T3	14.63±2.68 a	3.47±0.91 a	13.33±0.15 a	12.73±1.17 a

注:不同字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

表 4 施用液体厩肥对苗期玉米生物量的影响

单位:g

处理	地上鲜重	根部鲜重	地上干重	根部干重
CK	70.44±17.16 b	17.05±5.69 a	10.89±3.26 a	4.42±1.87 b
T1	84.75±20.78 a	19.78±3.83 a	12.12±2.64 a	5.36±1.26 b
T2	86.44±22.59 a	19.38±3.30 a	14.94±6.67 a	7.07±2.26 a
T3	66.19±8.05 b	17.43±5.77 a	11.35±2.90 a	5.33±2.34 b

2.1.5 液体厩肥对玉米产量的影响 由表 5 可知,各个处理间玉米穗长无显著差异,T1 最高,为 17.67 cm;百粒重、单穗粒重均表现为同一趋势,T1 处理最高,处理间无显著差异;T3 处理秃尖长度显著高于其他处理。

表 5 施用液体厩肥对玉米产量的影响

处理	穗长/cm	秃尖/cm	百粒重/g	单穗粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%
CK	16.89±1.27 a	0.22±0.44 b	37.73±2.77 a	201.67±24.11 a	10138.82±830.25 b	—
T1	17.67±1.41 a	0.26±0.44 b	40.21±4.08 a	208.89±23.69 a	10690.47±835.14 a	5.44
T2	17.08±0.79 a	0.23±0.33 b	38.74±2.22 a	203.33±17.50 a	10418.62±891.67 ab	2.76
T3	16.61±0.78 a	0.44±0.53 a	37.38±3.35 a	192.22±25.39 a	10483.73±848.33 ab	3.40

2.2 不同液体厩肥施用量对玉米农艺性状及产量的影响

由表 6 可知,各个处理随液体厩肥量的增加,玉米穗长略有增加;秃尖长度 L4 最高,与其他处理

产量方面,与 CK 对比,各液体厩肥处理均呈现增产趋势,其中 T1 处理增产率最高,为 5.44%;T2 处理增产率最低,为 2.76%。说明,减少化肥用量的同时增施液体厩肥有利于玉米生长发育,从而增加产量,对提高经济效益具有显著影响。

差异显著,各个处理间的百粒重和单穗粒重无显著差异,产量表现为 L1 最高,达 10 530.33 kg·hm⁻²,其他处理均有所减产,L4 处理减产较多,减产率达 9.65%。

表 6 液体厩肥不同施用量对玉米农艺性状及产量的影响

处理	穗长/cm	秃尖/cm	百粒重/g	单穗粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%
L1	17.00±2.39 a	0.56±0.46 b	39.53±2.53 a	188.89±29.65 a	10530.33±120.03 a	3.86
L2	17.78±1.73 a	0.67±0.93 b	38.33±3.62 a	218.89±28.95 a	9651.19±146.83 ab	-4.81
L3	17.44±1.66 a	0.67±1.17 b	40.42±2.25 a	196.11±31.17 a	9766.71±192.76 ab	-3.67
L4	17.78±1.89 a	1.56±1.12 a	40.81±2.91 a	207.22±27.47 a	9160.67±114.27 b	-9.65

2.3 液体厩肥梯度替代化肥试验结果

2.3.1 玉米农艺性状及产量 由表 7 可知,CK2 和 H1~H4 处理株高、百粒重和产量显著高于

CK1,H2 处理增产率最高,为 11.22%。各处理间秃尖长无显著差异。

表 7 增施液体厩肥对玉米农艺性状及产量的影响

处理	株高/cm	秃尖/cm	百粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%
CK1	241.72±12.32 b	2.01±0.21 a	26.85±3.56 b	7317.14±103.25 b	—
CK2	257.21±11.58 a	1.74±0.36 a	33.01±3.21 a	10151.23±123.47 a	—
H1	353.61±16.25 a	1.73±0.64 a	32.32±2.98 a	10957.51±165.48 a	7.94
H2	256.93±20.31 a	1.92±0.25 a	32.03±2.99 a	11278.51±135.22 a	11.22
H3	274.44±15.64 a	1.99±0.45 a	32.01±4.02 a	11178.52±136.45 a	10.12
H4	277.61±17.54 a	2.01±0.12 a	30.08±4.06 a	11271.91±144.11 a	11.04

2.3.2 氮肥利用率 氮肥能够提供作物生长所需的氮元素,合理的施氮量和施肥时机是提高氮肥利用率的关键。由表 8 可知,CK2 和 H1~H4 处理总氮量均显著高于 CK1 处理,而 H1~H4 处理施氮量显著低于 CK2,氮肥利用率无显著差异,与对照 CK2 相比平均提高 10.49%~12.57%。说明合理减施氮肥并增施液体厩肥,可以提高水肥耦合效率,进一步提高经济效益。

表 8 增施液体厩肥对氮肥利用率的影响

处理	总氮量/(kg·hm ⁻²)	施氮量/(kg·hm ⁻²)	氮肥利用率/%	比对照提高/%
CK1	82.10±6.58 b	—	—	—
CK2	146.52±12.65 a	220±5.63 a	29.27±2.33 a	—
H1	140.31±12.44 a	180±6.47 b	32.34±3.54 a	10.49
H2	137.83±16.58 a	171±8.25 b	32.57±6.01 a	11.27
H3	135.55±15.69 a	162±4.99 c	32.95±4.55 a	12.57
H4	132.44±10.66 a	153±8.21 c	32.89±1.65 a	12.37

3 讨论

土壤含水率及温度对玉米出苗及生长发育影响较大,对缓解春旱情况并提高蓄水保墒能力具有重要意义^[12]。本研究表明施用液体厩肥能够提高土壤含水率,尤其在春季干旱情况下,提高玉米出苗率,苗齐苗壮,增产作用显著。养分吸收是促进生物量积累的基础,进而改变穗部性状,提高干物质积累量^[13]。朱利霞等^[14]研究表明化肥减量配施有机肥显著增加土壤有机质和全氮含量,其中70%化肥+30%有机肥处理有机质和全氮含量增幅最大,分别为25.43%和31.87%。相应的,土壤养分充足进一步促进玉米生长发育,黄志浩等^[15]研究表明,有机肥25%替代化肥提高了玉米生物量,本试验也得到了类似的结果。化肥的肥效较快,易被作物吸收利用,可以在作物生长前期提供适量的无机氮,而有机肥分解缓慢具有长效性,矿质化作用进行较为缓慢,可以在作物生长中后期持续提供氮素等营养物质。因此,化肥与有机肥合理配施能够显著有效提高作物产量^[16]。

用液体厩肥进行替代化肥的处理显著提高了玉米的产量,这可能因为液体厩肥施入土壤后有利于形成土壤团粒结构,从而提高了土壤保水保肥以及供应玉米养分的能力^[17]。但也有研究表明,不同比例有机无机肥配施对作物产量的影响不同^[18]。孟超然等^[19]研究表明,不同替代比例的有机肥与化肥配施显著增加了玉米产量,增产8.53%~11.35%。本试验表明当液体厩肥施入量 $\leq 90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,增产2.76%~11.22%;而超过 $90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,会导致产量下降。也有相似的研究表明^[20],当氮肥减量70%并用有机肥替代时,玉米株高、产量及产量构成因素均呈显著下降趋势。因此,当液体厩肥替代比例较多时,肥效发挥较慢,与合理的替代比例对比,产量会有所减少^[21]。这表明液体厩肥在一定替代比例内提高作物产量,只能部分替代化肥,而不能完全替代。

发酵后的粪水不仅含有大量的氮、磷、钾等大量元素,还含有氨基酸、微量元素和腐植酸等活性物质,刺激作物生长^[22]。土壤中氮素存量的主要影响因素有施肥、降雨及作物吸收利用等,有机肥能够增加土壤团聚体粒径以及有机碳含量,从而提高阳离子交换量,使土壤的硝态氮固持能力提升^[23],其与化肥的共同施用既能快速给土壤提供

氮素,又能将有效氮保留,提高作物吸收效率^[24]。赵自超等^[25]研究发现与化肥相比,施用粪水尤其是粪水深施条件下,可以增加小麦籽粒产量及氮素利用率。本研究表明,液体厩肥梯度替代化肥提高了氮肥利用率,一定程度上减少了氮素的浪费以及氮素造成的环境污染。这可能由于化肥氮在土壤中容易转化为氨态氮和硝态氮,造成氨挥发和硝酸盐淋溶,而有机氮在土壤中分解速度慢,易于在土壤中保留^[26]。因此进一步说明有机肥对提高土壤氮素能力显著优于常规施肥。在实际施用中应注意控制液体厩肥替代化肥比例,后续试验应着重探究土壤养分、经济效益和施用频次等方面,为进一步大面积推广提供数据支撑。

4 结论

综上,在秸秆还田背景下液体厩肥部分替代化肥更有利于作物生长,而且对土壤氮供应具有积极作用。与单施化肥相比,液体厩肥部分替代化肥可以显著增加玉米生物量和产量,对株高和百粒重有明显促进作用,其中减10%化肥+液体厩肥 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 对玉米的增产作用最为显著。同时,液体厩肥部分替代化肥也显著提高氮肥利用率。该技术充分利用当地水热资源,实现玉米田水肥一体化,对玉米生长发育、产量有明显的正效应,有助于实现可持续农业发展。

参考文献:

- [1] 王善高,田旭,周应恒. 中国农业化肥施用量增长原因分解及其削减潜力分析[J]. 生态经济,2019,35(3):115-121.
- [2] 刘钦普,孙景荣,濮励杰. 中国与欧美主要国家化肥施用强度与综合效率比较研究[J]. 农业工程学报,2020,36(14):9-16.
- [3] 张占田,徐维华,姜学玲,等. 有机肥替代化肥对玉米生长、养分吸收和土壤肥力的影响[J/OL]. 分子植物育种,2022:1-11(2022-04-22)[2023-10-07]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220421.1638.023.html>.
- [4] 鲁伟丹,李俊华,罗彤,等. 连续三年不同有机肥替代率对小麦产量及土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(8):1330-1338.
- [5] 王凡. 长期秸秆还田及施用粪肥对小麦产量和矿质营养品质及重金属的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [6] 张鹏,贾志宽,路文涛,等. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(5):1122-1130.
- [7] 万连杰,李俊杰,张绩,等. 有机肥替代化肥技术研究进展[J]. 北方园艺,2021(11):133-142.
- [8] 孙国峰,王鑫,盛婧,等. 长期粪肥还田条件下稻米品质及氮

- 肥利用率[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2521-2527.
- [9] 刘晓燕, 金继运, 任天志, 等. 中国有机肥料养分资源潜力和环境风险分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2092-2098.
- [10] 季佳鹏, 赵欣宇, 吴景贵, 等. 有机肥替代 20% 化肥提高黑钙土养分有效性及玉米产量[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(3): 491-499.
- [11] 李廷亮, 王宇峰, 王嘉豪, 等. 我国主要粮食作物秸秆还田养分资源量及其对小麦化肥减施的启示[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4835-4854.
- [12] 杨慧敏, 王涛, 窦璇霞, 等. 不同降水年型地膜覆盖及秸秆覆盖提高小麦产量和氮素利用的效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(11): 1905-1914.
- [13] 党翼, 张建军, 赵刚, 等. 不同用量的有机肥对陇东旱地春玉米生长特性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 62-67.
- [14] 朱利霞, 曹萌萌, 桑成琛, 等. 生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2022, 40(1): 67-72.
- [15] 黄志浩, 曹国军, 耿玉辉, 等. 有机肥部分替代氮肥土壤硝态氮动态变化特征及玉米产量效应研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(1): 151-158.
- [16] 朱浩宇, 高明, 龙翼, 等. 化肥减量有机替代对紫色土旱坡地土壤氮磷养分及作物产量的影响[J]. 环境科学, 2020, 41(4): 1921-1929.
- [17] 赵吉霞, 禹妍彤, 周芸, 等. 有机肥等氮替代化肥对玉米产量和氮素吸收利用效率的影响[J]. 水土保持研究, 2022, 29(5): 374-381.
- [18] 陈倩, 谢军红, 李玲玲, 等. 不同比例有机肥替代化肥对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(6): 162-170.
- [19] 孟超然, 白如霄, 候建伟, 等. 有机肥替代部分化肥对于旱区滴灌玉米养分吸收及产量影响[J]. 土壤, 2020, 52(4): 750-757.
- [20] 朱利霞, 陈居田, 陈如冰, 等. 秸秆菌肥替代化肥对玉米生长及土壤特性的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(2): 26-29.
- [21] 付月君, 王昌全, 李冰, 等. 控释氮肥与尿素配施对单季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2016, 48(4): 648-652.
- [22] RAHAMAN M A, ZHANG Q W, SHI Y L, et al. Biogas slurry application could potentially reduce N_2O emissions and increase crop yield [J]. Science of the Total Environment, 2021, 778: 146269.
- [23] YIN F, FU B, MAO R. Effects of nitrogen fertilizer application rates on nitrate nitrogen distribution in saline soil in the Hai River Basin, China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2007, 7(3): 136-142.
- [24] 董春华, 高菊生, 曾希柏, 等. 长期有机无机肥配施下红壤性稻田水稻产量及土壤有机碳变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 336-345.
- [25] 赵自超, 付龙云, 李彦, 等. 牛场粪水施用对华北小麦/玉米产量及氮损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2544-2550.
- [26] 徐一兰, 唐海明, 程爱武, 等. 长期不同施肥模式对双季稻田土壤养分及水稻产量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(6): 192-197.

Effects of Liquid Manure Replacing Chemical Fertilizers on the Growth and Yield of Maize

SUN Simiao, WANG Xiaojun, GAO Hongsheng

(Heilongjiang Fertilizer Engineering Technology Research Center/ Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation & Utilization/ Northeast Plain Agricultural Environment Key Laboratory, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to improve the quality of agricultural land, promote crop growth, and promote sustainable agricultural development. Field experiments were conducted to investigate the effects of different proportions of liquid manure instead of chemical fertilizers on the growth and yield of maize. The results showed that increasing the application of liquid manure by $45-90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ can reduce the amount of chemical fertilizer by $25\%-50\%$ and increased the yield of maize by $2.76\%-6.04\%$; The treatment of reducing 10% chemical fertilizer and $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ liquid manure resulted in the highest corn yield, reaching $11\,278.51 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, and a nitrogen fertilizer utilization rate of 32.57% . In summary, the combination of liquid manure and chemical fertilizers can increase soil moisture and temperature, as well as increase the biomass and yield of corn, making it a reasonable fertilization model for increasing yield and nutrient balance of spring maize in the northern part of Northeast China.

Keywords: organic fertilizer; returning straw to the field; maize; yield