

有机肥替代化肥对京郊夏播青贮玉米生长与饲料品质的影响

熊波¹, 王琛², 张莉¹, 滕飞¹, 李震¹, 李传友¹, 刘京蕊¹,
常晓莲¹, 赵谦¹, 李贵桐^{2*}

(1. 北京市农业机械试验鉴定推广站, 北京 100079; 2. 中国农业大学土地科学与技术学院土壤和水科学系 / 农业农村部华北耕地保育实验室, 北京 100193)

摘要: 青贮玉米是当前玉米生产中的重要形式, 有机肥替代化肥是提高青贮玉米生产效益的重要途径。本研究旨在通过田间试验为青贮玉米生产中实施有机肥替代化肥行动提供实验依据。试验设置 4 个处理: (1) 100% 化肥 N, (2) 70% 化肥 N+30% 有机肥 N, (3) 40% 化肥 N+60% 有机肥 N, (4) 100% 有机肥 N。测定指标包括生育期内植株生长状况 (株高、叶绿素含量、叶面积系数、干物质积累) 和收获期青贮玉米产量与品质指标, 得到以下结果: (1) 对植株生长而言, 有机肥替代化肥不影响株高和叶绿素含量, 显著影响叶面积系数、茎叶含 N 量和干物质产量; (2) 对于青贮玉米品质而言, 有机肥替代化肥能够提高整株粗蛋白含量和叶片粗蛋白回收量, 降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量, 提高整体品质。从青贮玉米产量和品质上看, 本研究条件下以 30% 有机肥替代化肥的效果最佳。

关键词: 青贮玉米; 有机肥替代化肥; 产量与品质

青贮玉米是优质的饲料来源, 其在乳熟期至腊熟期的玉米全株或茎叶经过切碎加工、贮藏发酵制成的饲料不仅可以作为草食性牲畜 (牛、羊等) 的食物来源, 同时还具备可长期储存的优良特征。青贮玉米产量高, 可达 60 ~ 105 t/hm², 较普通籽用玉米高 15 ~ 45 t/hm², 可比玉米多提供 2 ~ 3 倍的营养物^[1-3]。青贮玉米的品质通常采用洗涤剂对纤维的营养价值来评价, 具体标准包括: 干物质含量 30% ~ 40%, 粗蛋白含量 >7.0%, 淀粉含量 >28%, 中性洗涤剂纤维含量 <45%, 酸性洗涤剂纤维含量 <22%, 木质素含量 <3.0%。与籽用玉米不同, 青贮玉米需满足地上生物量最大化和整株植株养分的均衡分布, 既要为饲料调制提供高蛋白物质, 还要注重其碳水化合

物 (纤维素) 是否易于生物分解^[4]。青贮玉米对氮肥反应敏感^[5-7], 在合理施氮的条件下, 可显著促进青贮玉米的生长^[8-9], 提高生物产量以及饲用营养品质^[10]。但当 N 素过量时, 不仅会加速叶片衰老^[11], 并且还会对环境造成巨大压力^[12]。因此, N 素的合理施用是青贮玉米产量和饲用营养品质的保证^[13-15]。

随着国家“减肥减药”政策的逐步推行, 在青贮玉米的实际生产中大力倡导进行有机肥与无机肥混施。已有研究表明, 不同比例的有机肥与无机肥配施对青贮玉米的生物量^[16-21]和饲用价值^[21-23]会产生很大的影响。此外, 种植地气候条件及田间管理措施^[24-27]也会对有机肥与化肥配施的效果产生影响, 因此具体情况还需进一步研究。

本研究旨在揭示常规生产条件下有机肥替代化肥对青贮玉米生长、产量与品质的影响, 重点讨论有机肥替代化肥对青贮玉米品质的影响, 以期为指导青贮玉米生产中高效实施有机肥替代化肥提供实验依据。

1 材料与方法

本试验的土壤基本理化性质、供试肥料及田间试验细节与熊波等^[28]的研究报道一致。

收稿日期: 2020-03-16; 录用日期: 2020-05-09

基金项目: 农业农村部主要农作物生产全程机械化示范项目; 北京市农业废弃物资源化循环利用机械化技术示范推广项目; 十二·五科技支撑计划“北方城郊环保型多功能生态农业模式研究与示范”(2014BAD14B03)。

作者简介: 熊波 (1980-), 男, 甘肃人, 高级农艺师, 大学本科, 主要从事农业机械化装备研究与技术推广。E-mail: bobosport@126.com。

通讯作者: 李贵桐, E-mail: lgtong@cau.edu.cn。

1.1 试验地点与土壤

试验地位于北京市顺义区李遂镇葛代子村 (40.106° N, 116.749° E), 属于潮白河冲积平原, 海拔 38 m。属暖温带半湿润大陆性季风性气候, 年均气温为 11.5℃, 1月平均气温 4.9℃, 7月平均气温 25.7℃, 年日照 2750 h, 无霜期 195 d 左右, 年均相对湿度 50%, 年均降水量 625 mm, 为华北地区降水量较均衡的地区之一, 全年降水的 75% 集中在 7 ~ 8 月。该试验地已连续多年种植冬小麦和青贮玉米。前茬冬小麦于 2017 年 6 月 15 日收割, 供试范围内清除冬小麦地上部秸秆。供试土壤的 0 ~ 35 cm 为轻壤土, 35 ~ 55 cm 为粘壤土, 55 ~ 100 cm 为砂壤土。2017 年 6 月 22 日播种前测定 0 ~ 20 cm 表层土壤基本性质为: 土壤有机质含量 18.4 g/kg, pH 值 8.2, 全氮含量 1.06 g/kg, 含水量 12.6%, 无机氮 (NH_4^+-N 和 NO_3^--N) 16.84 mg/kg, 有效磷 28.66 mg/kg, 速效钾 76.85 mg/kg, 微生物量碳 156.4 mg/kg, 微生物量氮 28.7 mg/kg。20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm 各土层 NO_3^--N 含量分别为 18.6、21.2、15.4 和 10.3 mg/kg。

1.2 供试肥料

所用有机肥是以新鲜牛粪为原料经好氧堆肥而制成的商品有机肥, 其基本性质为: 有机质含量 62%, 全氮 2.32%, P_2O_5 含量 1.05%, K_2O 含量 2.07%, 含水量 27%; 所用化肥为氮磷钾三元复合肥, N、 P_2O_5 和 K_2O 含量均为 15%。

1.3 田间试验

试验共设 4 个处理, 分别为 100% 化肥 (N10)、70% 化肥 N+30% 有机肥 N (N7)、40% 化肥 N+60% 有机肥 N (N4) 和 100% 有机肥 N (N0), 每个处理设置 3 个重复, 每个小区南北长 12 m, 东西宽 9.6 m (玉米播种机的 4 个播幅), 小区面积 115 m²。12 个小区随机区组分布。为方便机械化播种, 小区间无地面土埂间隔。各处理按等 N 量 (210 kg/hm²) 计算有机肥和化肥用量。播种前将各小区的肥料充分混合均匀, 人工均匀撒在地表, 随后进行统一的机械旋耕, 深度 10 cm, 保证肥料均匀分布。

试验于 2017 年 6 月 22 日播种, 玉米品种为郑单 958, 播种量为 45 kg/hm²。采取机械化精量播种, 株距 20 cm, 行距 60 cm, 种植密度为 82500 株/hm²。田间管理按当地常规农事操作进行, 青贮玉米生长期间无灌溉和植保措施。9 月 30 日收获, 生育期 98 d。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 玉米生长状况

分别于 8 月 9 日 (大喇叭口期)、9 月 4 日 (扬花期) 和 9 月 30 日 (成熟期) 采集玉米植株样品, 测定株高、叶面积、叶绿素含量、地上部干物质和 N、P、K 含量。叶绿素含量用 SPAD-502 仪测定, 每小区随机选取 30 个旗叶, 在每个旗叶中部测定 SPAD 值。玉米植株样品的采集方法为: 在 8 月 9 日和 9 月 4 日每小区内选取 5 株长势一致的完整植株, 在 9 月 30 日每小区的中部取 2 m 双行中的完整植株。随后分别测定植株株高、叶面积、地上部干物质, 具体方法是: 株高采用钢卷尺测量法测定, 叶面积采用长宽法测量, 干物质采用鲜样在 105℃ 杀青 30 min, 60℃ 烘干至恒重得到。植株全 N 采用半微量凯氏定氮法测定, 全 P 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮钼蓝比色法测定, 全 K 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮火焰光度法测定。在测定玉米干物质和 N、P、K 含量时, 由于植株体过大和叶、茎、果穗间差异很大, 在 9 月 4 日和 9 月 30 日的测定中将植株的叶、茎、果穗部分分开, 分别测定干物质和 N、P、K 含量。

1.4.2 青贮玉米品质

将 9 月 30 日收获的青贮玉米分为叶 (包括苞叶)、茎 (包括穗轴)、籽粒 3 部分, 样品分别烘干后, 用粉碎机将烘干样品粉碎过直径为 0.15 mm 的筛, 取样测定粗蛋白质 (CP)、中性洗涤纤维 (NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF) 和淀粉含量。其中, 粗蛋白质含量采用国标 GB/T 6432 中方法测定, 中性洗涤纤维含量采用国标 GB/T 20806 中方法测定, 酸性洗涤纤维含量采用 NY/T 1459 中方法测定, 淀粉含量采用国标 GB/T 20194 中方法测定。

1.4.3 指标计算

茎秆比 (叶片比, 籽粒比) = 茎干重或叶干重或籽粒干重 (kg/hm²) / 地上部生物量 (kg/hm²);

叶面积系数 (LAI) = 单株所有绿叶的单叶面积之和, 其中, 单叶面积 = 长 × 宽 × 系数 (展开叶为 0.75, 未展叶为 0.5)。

1.4.4 数据处理

SPAD 值处理: 每次每小区 30 个测定值均符合正态分布, 故其平均值采用算术平均值计算得到。其他测定均为小样本重复测定 ($n=3$), 平均值均采用算术平均值得到。

采用 SPSS 13.0 软件处理数据, 显著性差异采

用方差分析中的 LSD 法检验。

2 结果与分析

2.1 植株生长情况

生育期内青贮玉米的生长情况如图 1 所示。收获时玉米株高在 2.36 ~ 2.43 m 之间, 有机肥替代化肥对最终株高和株高动态均无显著影响 (图 1a); 叶绿素 SPAD 值随生育期逐渐增高, 由 8 月 9 日的均值 45 增加到 9 月 4 日的均值 55, 再到 9 月 30 日的均值 53, 有机肥替代化肥对最终 SPAD 值及其动态均无显著影响 (图 1d)。

干物质累积在扬花期 (9 月 4 日) 前不受有机肥替代化肥的影响, 收获时 (9 月 30 日) 则受到有机肥替代化肥的影响: N7 和 N4 处理最高, 达到

25500 ~ 26300 kg/hm², 而 N10 和 N0 处理分别只有 22900 和 19300 kg/hm², 低于 N7 和 N4 处理 11% 和 26% (图 1b)。有机肥替代化肥对 9 月 4 日前叶面积系数 (LAI) 无影响, 对 9 月 4 日后 LAI 有显著影响: 9 月 4 日时 N10 和 N0 处理 LAI 显著高于其他处理, 9 月 30 日时 N0 处理 LAI 显著低于其他处理 (图 1c)。

9 月 4 日前叶片含 N 量接近 4.0%, 有机肥替代化肥只影响收获期 (9 月 30 日) 叶片含 N 量 (图 1e): N10 和 N0 处理最低, 在 1.18% ~ 1.20% 之间, 而 N7 和 N4 处理分别为 1.41% 和 1.34%, 高出 N10 和 N0 处理 13% ~ 18%; 8 月 9 日时茎秆含 N 量在 2.44% ~ 2.83% 之间, 处理间差异不显著 (图 1f), 随后大幅降低, 低于 1.5%, 到了收获期

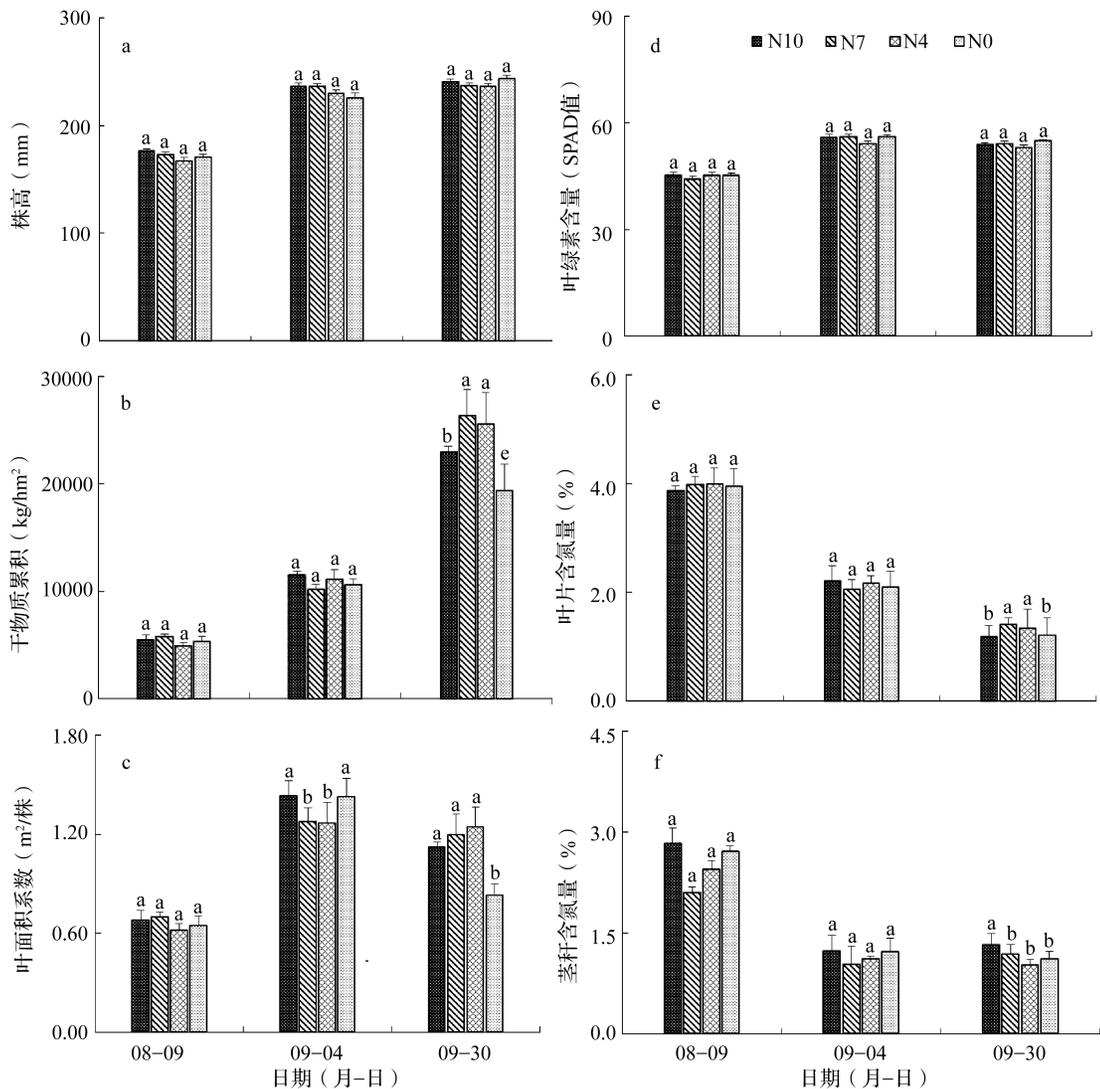


图 1 青贮玉米生长情况

注: 同一指标不同字母表示处理间差异达到 95% 的显著性水平。

(9月30日) N10处理的茎秆含N量显著高于其他处理。

2.2 青贮玉米品质

表1所示为试验中各处理收获时青贮玉米的品质状况。N10和N0处理的整株粗蛋白含量均低于国标GB/T 25882—2010中规定的一级品青贮玉米 $\geq 7.0\%$ 的标准,而N7和N4处理均大于该标准,说明有机肥替代化肥可以提高整株粗蛋白的水平,以60%有机肥替代化肥效果最佳。中性洗涤纤维含量在33.1%~42.3%之间,酸性洗涤纤维含量在13.8%~19.2%之间,均达到国标GB/T 25882—2010中一级品标准,且随着有机肥替代化肥比例的增高而逐步降低,表明青贮玉米中纤维素可降解性增强。淀粉含量大于33%,也达到国标GB/T 25882—2010中一级品标准,但有机肥替代化肥对淀粉含量无显著影响。叶片含水率在62%~68%之间,N0处理含水率为62%,显著低于其他处理。茎秆含水率在76%~80%之间,不同有机肥替代化肥处理之间差异不显著。

叶片比在0.28左右,茎秆比在0.26左右,籽粒比在0.47左右,均不受有机肥替代化肥的影响(表1),但叶片、茎秆和籽粒总粗蛋白收获量显著受到有机肥替代化肥比例的影响:第一,尽管叶片干物质量只占总生物量的28%左右,但其中粗蛋白收获量达到458~637 kg/hm²,占总收

获量的31%~34%,且受有机肥替代化肥比例显著影响,以30%有机肥替代化肥最佳,其次为60%有机肥替代化肥,而100%有机肥替代化肥与100%化肥相当;第二,茎秆生物量占总生物量的26%左右,其粗蛋白收获量在347~503 kg/hm²之间,占总收获量的28%,可见,其营养价值与整株水平接近,有机肥部分替代化肥时含量高于不替代或完全替代;第三,籽粒中粗蛋白的收获量在554~713 kg/hm²之间,其粗蛋白与总粗蛋白收获比例(38%~42%)小于籽粒比(45%~48%),说明籽粒的营养价值略低于整株水平。

2.3 养分在各器官的分布

有机肥替代化肥对N在叶片、茎秆和籽粒中分布的影响较小(表2)。N素主要分布在籽粒部分,回收量在89~114 kg/hm²之间,占总N回收量的38%~42%,比例从高到低依次是N10 \approx N0>N4 \approx N7,与化肥相比,有机肥替代化肥不利于N素在籽粒中累积。N素的第二个库是叶片,回收量在65~102 kg/hm²之间,占总N回收量的31%~34%,比例从高到低依次是N7 \approx N4>N0 \approx N10,有机肥替代化肥有利于N素在叶片中累积。茎秆中N素的比例在27%左右,不受有机肥替代化肥的影响。

有机肥替代化肥主要影响P在籽粒和叶片中分布的数量和比例,而对茎秆中P的回收量影响很小(表2)。P素主要分布在籽粒中,回收量在34~79 kg/hm²之间,占总P回收量的46%~61%,比例从高到低依次是N4>N7>N0 \approx N10,可见,30%~60%比例的有机肥更有利于P素在籽粒中的累积。P素的第二个库是叶片,回收量在28~44 kg/hm²之间,占总P回收量的28%~41%,比例从高到低依次是N10>N0>N7>N4,与化肥相比,有机肥替代化肥不利于P素在叶片中累积;当有机无机肥配合时,有机肥比例越小,P素在叶片中积累越多。

有机肥替代化肥主要影响K在叶片中分布的数量和比例,而对籽粒中K的回收量影响很小(表2)。K素主要分布在茎秆中,回收量在102~139 kg/hm²之间,占总K回收量的43%~50%,比例从高到低依次是N10>N4>N7 \approx N0,可见,有机肥替代化肥不利于K素在茎秆中的累积。K素的第二个库是叶片,回收量在92~142 kg/hm²之间,

表1 收获期青贮玉米品质

指标	处理			
	N10	N7	N4	N0
整株粗蛋白(%)	6.50a	7.03c	7.12c	6.77b
中性洗涤纤维(%)	42.3c	40.8c	37.5b	33.1a
酸性洗涤纤维(%)	19.2c	18.5c	15.4b	13.8a
淀粉(%)	35.2a	34.8a	33.8a	33.1a
叶片含水率(%)	68b	65b	66b	62a
茎秆含水率(%)	80b	78a	76a	76a
叶片比	0.27a	0.27a	0.29a	0.28a
茎秆比	0.25a	0.26a	0.26a	0.27a
籽粒比	0.48a	0.47a	0.45a	0.45a
叶片粗蛋白(kg/hm ²)	458b	637c	612c	408a
茎秆粗蛋白(kg/hm ²)	414b	503c	491c	347a
籽粒粗蛋白(kg/hm ²)	619b	709c	713c	554a

注:同一指标不同字母表示处理间差异达到95%的显著性水平。国标GB/T 25882—2010中一级品标准:粗蛋白 $\geq 7\%$,中性洗涤纤维 $\leq 45\%$,酸性洗涤纤维 $\leq 23\%$,淀粉 $\geq 25\%$ 。

表2 有机肥替代化肥中青贮玉米养分在各器官的分布
(kg/hm²)

器官	养分	处理			
		N10	N7	N4	N0
叶片	N	73.2 (31)	101.9 (34)	97.9 (34)	65.2 (31)
	P	43.5 (41)	39.3 (35)	36.5 (28)	28.4 (38)
	K	92.4 (35)	142.3 (44)	130.7 (44)	102.7 (43)
茎秆	N	66.2 (28)	80.5 (27)	78.5 (27)	55.6 (27)
	P	14.8 (14)	14.4 (13)	14.8 (11)	12.1 (16)
	K	131.5 (50)	138.9 (43)	134.8 (45)	101.9 (43)
籽粒	N	99.0 (42)	113.5 (38)	114.0 (39)	88.6 (42)
	P	48.9 (46)	57.9 (52)	79.4 (61)	34.0 (46)
	K	37.1 (14)	39.8 (12)	34.1 (11)	32.2 (14)
总回收量	N	238.4	295.9	290.4	209.4
	P	107.1	111.6	130.7	74.4
	K	261.0	321.0	299.5	236.8
	N+P+K	606.5	728.5	720.6	520.6

注：括号中数值为各器官相应养分占整个地上部生物量相应养分量的百分比。

占总 K 回收量的 35% ~ 44%，比例从高到低依次是 N7 ≈ N4 ≈ N0 > N10，与化肥相比，有机肥替代化肥有利于 K 素在叶片中的累积。

3 讨论

3.1 青贮玉米产量

青贮玉米产量既是重要的栽培指标，又是重要的经济指标，在品质近似的条件下追求最大产量是青贮玉米生产的重要目标之一。本研究中，4 个处理的青贮玉米干物质产量在 19300 ~ 26300 kg/hm² 之间，平均为 23500 kg/hm²，处于北京地区平均水平，与北京地区 5 个品种青贮玉米干物质平均产量 24000 kg/hm² 非常接近^[29]，但高于北京地区 9 个品种青贮玉米干物质平均产量 19600 kg/hm²^[30]。从品种郑单 958 在北京地区的产量看，在施 N 量（165 kg/hm²）、密度（75000 株/hm²）、播期（6 月 22 日）、收获期（9 月 28 日）近似的情况下，产量为 17800 kg/hm²^[30]，尚低于本研究中的 100% 有机肥替

代化肥处理的产量，说明本研究中的产量水平较高。

有机肥替代部分化肥可以提高玉米产量^[16-17, 26]，因为肥料中 N 素的释放具有一定的缓效性，这与施用缓释化学 N 肥提高青贮玉米产量^[8, 31]有一定的相似性。研究表明，当缓释氮复合肥施入量 150 kg/hm²、缓释成分为 30% 时，青贮玉米的产量最高^[8]，这与本研究中 30% 有机肥替代化肥（N7）产量（图 1b）和养分回收率（表 2）最高的结果相当一致，类似的结果也包括 40% 有机 N^[15] 和 20% 有机 N^[18] 对玉米产量的提高最大。因此，综合来看，20% ~ 40% 的有机肥替代化肥可能使青贮玉米的产量达到最高。

3.2 青贮玉米品质

提高品质也是青贮玉米栽培的重要目标之一，对于提高其饲料价值具有重要意义，我国青贮玉米的品质正逐步提高^[32-33]。本研究中，30% 和 60% 有机肥替代化肥处理的粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和淀粉含量（表 1）均优于国标 GB/T 25880—2010 中规定的一级青贮玉米标准，表明在本试验条件下有机肥部分替代化肥时生产出的青贮玉米品质优良，优于北京地区 9 个品种夏播青贮玉米的品质^[30]，也优于甘肃张掖地区 10 个品种^[34]、斯洛伐克共和国 6 个品种^[35]、捷克大部分品种^[36] 和巴西 6 个品种^[37] 的品质。

全株青贮玉米中叶片比是另外一项重要的品质指标，叶片碳水化合物含量越高，其饲料价值越高^[38-39]，喂饲奶牛不仅牛奶产量高，而且品质好^[40-41]。青贮专用玉米品种的叶片比一般在 0.2 左右^[42]，而本研究中 4 个处理的叶片比在 0.27 ~ 0.29 之间（表 1），且随有机肥替代化肥比例增高呈变大的趋势，说明有机肥替代化肥可以增加植株中的叶片比例，这与在土耳其的研究结果相似^[19]，有利于提高青贮玉米的品质。

施用 N 肥可以提高青贮玉米的粗蛋白含量^[10, 12, 43-44]，也有降低其营养价值的风险^[14]。减缓土壤 N 的供应可以提高青贮玉米的粗蛋白含量^[8]。本研究中，有机肥替代化肥的粗蛋白含量比 100% 化肥（N10）提高 10% ~ 18%，以 30% 有机肥替代化肥效果最佳（表 1），这种有机无机配合的效果小于前人研究的结果^[45]。另外，很多研究表明增加 N 肥用量将降低酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量^[10, 12, 43-44]，这与本研究的结果相符：随着有机肥替代化肥比例的提高，酸性洗涤纤维和中性洗涤

纤维含量均分别依次降低, 因为土壤 N 素的有效性依次降低, 这与降低 N 肥用量的效果相一致^[20-21]。

4 结论

在关注农业生产经济效益和环境影响的背景下, 青贮玉米生产中应积极实施有机肥替代化肥行动。由于土壤养分状况是动态变化的, 本文结果仅代表当年种植的青贮玉米的产量及品质。结果显示, 有机肥替代化肥在维持青贮玉米产量的同时, 可在一定程度上提高青贮玉米的品质, 形成农业生产增产与增效的双赢局面。

致谢: 全体作者对北京荣萍种植专业合作社、北京金鑫现代农业发展有限公司和北京奥格尼克生物技术有限公司在本研究中的大力支持表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 梁晓玲, 雷志刚, 阿布来提, 等. 优质青贮玉米新青 1 号的选育及其栽培技术 [J]. 玉米科学, 2004 (1): 47-49.
- [2] 储国良, 刘泉, 花卫华, 等. 苏南丘陵农区夏播青饲玉米高产栽培技术 [J]. 江苏农业科学, 2011, 39 (5): 297-298.
- [3] Ueno R K. Exportação de macronutrientes do solo em área cultivada com milho para alimentação de bovinos confinados [J]. Semina: Ciências Agrárias, 2013 (34): 3001-3018.
- [4] 王元清, 张瑞珍, 何光武, 等. 不同施氮水平对青贮玉米生产性能的影响 [J]. 四川畜牧兽医, 2011, 38 (5): 24-26.
- [5] 杨武, 李运起, 李建国, 等. 大喇叭口期不同施肥组合对青贮玉米产量的影响研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (14): 32-35.
- [6] 兰宏亮, 王海波. 不同追肥时期对夏播青贮玉米产量的影响 [J]. 农业科技通讯, 2017 (4): 73-76.
- [7] 徐敏云, 谢帆, 李运起, 等. 施肥对青贮玉米营养品质和饲用价值的影响 [J]. 动物营养学报, 2011, 23 (6): 1043-1051.
- [8] 马磊, 袁飞, 朱玲玲, 等. 氮复合肥料种类及施氮量对坝上地区青贮玉米产量和品质的影响 [J]. 草业学报, 2013, 22 (6): 53-59.
- [9] 朱永群, 汪霞, 彭建华, 等. 密度和施氮量对雅玉 8 号青贮玉米产量和品质的影响 [J]. 玉米科学, 2015, 23 (6): 92-97.
- [10] 宋晋辉, 赵祥, 高运青, 等. 施氮量对青贮玉米产量和品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (5): 155-156.
- [11] 王久龙, 王振华, 李文昊, 等. 施氮量对复播青贮玉米光合特性和产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35 (5): 250-255.
- [12] 华鹤良, 卞云龙, 李国生, 等. 密度和施氮量对青贮玉米产量与品质的影响 [J]. 上海农业学报, 2014, 30 (4): 81-84.
- [13] 王鹏文, 戴俊英, 赵桂坤, 等. 玉米种植密度对产量和品质的影响 [J]. 玉米科学, 1996, 4 (4): 43-46.
- [14] Islam M R, Garcia S C, Horadagoda A. Effects of irrigation and rates timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize, and nutritive value and in-vitro gas production characteristics of whole-crop maize silage [J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 172 (3-4): 125-135.
- [15] 吴祥瑞, 张潇潇, 李伏生. 沟灌方式和有机无机氮比例对甜糯玉米种植土壤酶活性和活性有机碳的影响 [J]. 土壤, 2014, 46 (5): 832-838.
- [16] 罗洋, 郑金玉, 郑洪兵, 等. 有机无机肥料配合施用对玉米生长发育及产量的影响 [J]. 玉米科学, 2014, 22 (5): 132-136.
- [17] 习斌, 翟丽梅, 刘申, 等. 有机无机肥配施对玉米产量及土壤氮磷淋溶的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 326-335.
- [18] 张婉婷, 金成功, 张欢, 等. 有机无机肥料配施对连作区玉米土壤微生物及养分含量的影响 [J]. 作物杂志, 2016 (3): 110-115.
- [19] Karasahin M. Effects of cultivar and fertilization on plant and silage crude protein contents in maize [J]. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, 2014, 31 (2): 98-104.
- [20] Nazlı R I, Kuvuran A, İnal I, et al. Effects of different organic materials on forage yield and quality of silage maize (*Zea mays* L.) [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2014, 38: 23-31.
- [21] Nazlı R I, İnal I, Kuvuran A, et al. Effects of different organic materials on forage yield and nutrient uptake of silage maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Plant Nutrition, 2016, 39 (7): 912-921.
- [22] 王志勇, 红梅, 杨殿林, 等. 供氮水平和有机无机配施对夏玉米产量及土壤硝态氮的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2008 (6): 11-14.
- [23] 刘红梅, 赵建宁, 王志勇, 等. 供氮水平和有机无机配施对夏玉米氮利用效率的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (12): 77-81.
- [24] Schroder J J, de Visser W, Assinck F B T, et al. Effects of short-term nitrogen supply from livestock manures and cover crops on silage maize production and nitrate leaching [J]. Soil Use and Management, 2013, 29: 151-160.
- [25] 梁永振, 仝利朋, 吴德亮, 等. 有机无机肥配施对土壤硝态氮、玉米产量和氮素利用率的影响 [J]. 玉米科学, 2017, 25 (4): 111-116.
- [26] Smith G H, Chaney K, Murray C, et al. The effect of organo-mineral fertilizer applications on the yield of winter wheat, spring barley, forage maize and grass cut for silage [J]. Journal of Environmental Protection, 2015, 6: 103-109.
- [27] Sigumjak I, Vaneekhaute C, Michels E, et al. Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years [J]. Science of the Total Environment, 2017, 599-600: 1885-1894.

- [28] 熊波, 王琛, 张莉, 等. 有机肥替代对京郊夏播青贮玉米土壤养分动态与平衡的影响 [J]. 玉米科学, 2019, 27 (6): 131-137.
- [29] 兰宏亮, 王海波. 北京地区夏播青贮玉米不同熟期品种比较试验 [J]. 北京农业, 2015 (32): 27-29.
- [30] 郎书文, 裴志超. 京郊夏播优质高产青贮玉米品种筛选研究 [J]. 农业科技通讯, 2017 (10): 57-59.
- [31] 魏江曼, 陈立和, 张选. 青储玉米施用木质素缓释肥效果研究 [J]. 河北农业, 2017 (2): 41-43.
- [32] 张晓庆, 穆怀彬, 侯向阳, 等. 我国青贮玉米种植及其产量与品质研究进展 [J]. 畜牧与饲料科学, 2013, 34 (1): 54-57.
- [33] 李胜开, 肖玲, 张倩云, 等. 2015 ~ 2016 年中国青贮玉米品质分析 [J]. 中国奶牛, 2017 (11): 49-55.
- [34] 甘辉林, 权金鹏, 马垭杰, 等. 不同优质高产青贮玉米新品种生产性能及营养价值评价 [J]. 畜牧兽医杂志, 2017, 36 (5): 11-15.
- [35] Chrenková M, Poláčiková M, Formelová Z, et al. The characteristics of crude protein and NDF in lucerne and maize silages according in situ and CNCPS [J]. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2012, 1 (February Specialissue): 640-643.
- [36] Loucka R, Hakl J, Jirmanova J, et al. Yearly variation in maize silage fermentation and nutritive quality [J]. Grass and Forage Science, 2014, 70: 674-681.
- [37] Araújo K G, Villela S D J, Leonel F D P, et al. Yield and quality of silage of maize hybrids [J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2012, 41 (6): 1539-1544.
- [38] Hegyi Z, Zsubori Z, Rácz F, et al. Comparative analysis of silage maize hybrids based on agronomic traits and chemical quality [J]. Maydica, 2009, 54: 133-137.
- [39] Pinter J, Glenn F, Pen S, et al. Utilizing Leafy genes as resources in quality silage maize breeding [J]. Maydica, 2011, 56: 243-250.
- [40] Clark P W, Kelm S, Endres M I. Effect of feeding a corn hybrid selected for leafiness as silage or grain to lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85: 607-612.
- [41] Thomas E D, Mandebvu P, Ballard C S, et al. Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, in vitro digestibility, and milk yield by dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84: 2217-2226.
- [42] Zsubori Z T, Pintér J, Spitkó T, et al. Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L) hybrids and their interest for biogas production [J]. Maydica, 2013, 58: 34-41.
- [43] 兰宏亮, 王海波. 施氮量对不同密度夏播青贮玉米产量和品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (2): 73-75.
- [44] 李蒙蒙, 张桂国, 杨在宾, 等. 堆肥施用量对全株青贮玉米产量和营养价值的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (11): 2337-2344.
- [45] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 I. 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (3): 579-586.

Effects of organic fertilizer substituting chemical fertilizer on the growth and quality of summer silage maize in Beijing suburbs

XIONG Bo¹, WANG Chen², ZHANG Li¹, TENG Fei¹, LI Zhen¹, LI Chuan-you¹, LIU Jing-rui¹, CHANG¹ Xiao-lian¹, ZHAO Qian¹, LI Gui-tong^{2*} [1. Beijing Agricultural Machinery Test and Appraisal Extension Station, Beijing 100079; 2. Department of Soil and Water Science, College of Land Science and Technology, China Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation (North China) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193]

Abstract: Silage maize is currently one of the important forms in the maize production. Organic fertilizer Substitution (OFS) is one of the important ways in enhancing production benefits of silage maize. The purpose of this study is, by the field experiment, to provide experimental basis for OFS in the silage maize production. There were 4 treatments in the experiment: (1) 100% chemical fertilizer N, (2) 70% chemical fertilizer N+30% organic fertilizer N, (3) 40% chemical fertilizer N+60% organic fertilizer N, and (4) 100% organic fertilizer N. During the growth season, plant growth parameters (plant height, SPAD, leaf area index, dry mass accumulation), and yield and quality of silage maize at harvest were measured. The results showed that: (1) For plant growth, organic fertilizer substituting chemical fertilizer had no impact on plant height and SPAD value, but significantly affected leaf area index, N content in stems and leaves, and dry mass yield; (2) For quality of silage maize, organic fertilizer substituting chemical fertilizer improved the crude protein content in the whole plant and leaves, reduced the neutral detergent fiber and acid detergent fiber content, and improved the integral quality of the silage maize. In summary, the 30% OFS is the best way in this study.

Key words: silage maize; organic fertilizer substituting chemical fertilizer; yield and quality