



种植密度对酒泉地区青贮玉米 产量及营养品质的影响

曹健¹, 王志龙², 张建明¹, 曹亮¹, 张治龙¹, 柴绍芳^{2*}

(1. 酒泉职业技术学院, 甘肃酒泉 735000; 2. 酒泉市畜牧兽医总站, 甘肃酒泉 735000)

摘要: 为了探究酒泉地区青贮玉米种植密度对产量、农艺性状以及营养品质指标的影响, 以期获得最佳青贮玉米种植密度。试验以大京九 26 品种为对象, 分别设 6.75×10^4 株/hm² (低)、 8.25×10^4 株/hm² (中) 和 9.75×10^4 株/hm² (高) 3 个种植密度, 玉米籽乳线达到 1/2 时收获, 测定各项指标。结果表明: 青贮玉米产量随种植密度增加而升高, 在种植密度为 9.75×10^4 株/hm² 时产量最高, 高密度较中密度和低密度干草产量分别增产 6.5% 和 24.5%。株高、穗位高随种植密度的增加逐渐升高, 而茎粗随种植密度的增大而变细, 叶片持绿性也有所降低。粗蛋白含量随种植密度的增加而显著降低 ($P < 0.05$), 而酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维随种植密度的增加而升高, 9.75×10^4 株/hm² (高) 较 8.25×10^4 株/hm² (中) 和 6.75×10^4 株/hm² (低) 密度分别增加 2.2%~7.7% 和 3.6%~14.9%。综合考虑生物产量、农艺性状、品质等相关指标, 说明大京九 26 在酒泉地区适宜种植密度为 8.25×10^4 株/hm²。

关键词: 青贮玉米; 种植密度; 产量; 农艺性状; 营养品质

[中图分类号] S816.5 [文献标志码] A [文章编号] 1004-6704(2025)-03-0026-05

Effect of Planting Density on Yield and Nutritional Quality of Silage Maize in Jiuquan Area

CAO Jian¹, WANG Zhilong², ZHANG Jianming¹, CAO Liang¹, ZHANG Zhilong¹, CHAI Shaofang^{2*}

(1. Jiuquan Vocational and Technical College, Jiuquan, Gansu 735000, China;

2. Jiuquan Animal Husbandry and Veterinary Station, Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: The study aimed to assess the influence of planting densities on silage corn yield, agronomic traits, and nutritional quality indicators in the Jiuquan region, with the objective of determining the optimal planting density for silage corn varieties in this area. The Dajingjiu 26 variety was selected as the experimental subject, and three distinct planting densities were implemented: 6.75×10^4 plants/hm² (low), 8.25×10^4 plants/hm² (medium), and 9.75×10^4 plants/hm² (high). Measurements were conducted at half maturity when the milky line of the corn kernel reached its midpoint. The findings revealed a positive correlation between corn silage yield and increased planting density, reaching its zenith at a density of 9.75×10^4 plants/hm². High-density cultivation resulted in a notable increase in dry grass yield by 6.5% compared to medium density and an impressive surge of 24.5% compared to low density. Plant height and ear position exhibited incremental growth with higher planting densities while

stem diameter decreased proportionally alongside reduced leaf retention rate. Furthermore, there was a significant reduction in crude protein content with escalating planting density ($P < 0.05$). Conversely, neutral detergent fiber and acid detergent fiber content demonstrated an upward trend as planting density increased; high-density cultivation led to an

[收稿日期] 2024-09-17

[基金项目] 甘肃省科技计划资助甘肃省科技厅民生科技专项乡村振兴专题(21CX6NF232); 酒泉市科技局科技支撑计划项目(2023CA3003)

[第一作者] 曹健(1984-), 男, 副教授, 主要从事伺草料开发利用工作。E-mail: 49881856@qq.com

* [通信作者] 柴绍芳, E-mail: 348140446@qq.com

increase of 2.2%—7.7% and 3.6%—14.9%, respectively, compared to medium-or low-density cultivation. Considering all pertinent indicators encompassing biological yield, agro-nomic traits, and quality attributes collectively suggests that Dajingjiu 26 is best suited for cultivation at a density of 8.25×10^4 plants/hm² in the Jiuquan region.

Key words: silage maize; planting density; biomass yield; economical character; nutritional quality

玉米(*Zea mays* L.)是中国重要的谷物和饲料作物^[1]。青贮玉米作为全株玉米青贮的主要原料,具有易吸收、易贮存、产量高、营养丰富等优点^[2]。全株玉米青贮可最大限度地保留玉米原料营养成分,是牛、羊养殖冬季主要的粗饲料来源^[3]。优良的青贮玉米品种应该具有较高的产量、优异的农艺性状、良好的品质和较强的田间适应性^[4]。2021年,酒泉市第五次党代会将牛羊为主的绿色畜牧产业确定为六大特色支柱产业之一,计划10年内逐步将酒泉市打造为全省绿色肉羊生产供应基地,聚力打造100亿级绿色畜牧全链条产业集群。在利好政策驱动下,酒泉市牛羊养殖数量逐年增长,青贮玉米种植面积稳步增加,目前,酒泉市青贮玉米种植面积达到126.67 km²,牛羊饲养量分别达到31万头和866万只。近年来,随着酒泉市绿色畜牧产业高质量发展对优质饲草料的需要,如何在有限的单位土地面积内增加青贮玉米生物产量是目前急需解决的问题。

种植密度是玉米单产提升的关键栽培技术措施之一,是影响玉米产量的重要关联因子^[5-6]。在青贮玉米生产中采用适当的种植密度可以有效地降低成本,充分利用资源,并实现高产优质的生产目标^[7]。研究显示,增加作物的种植密度能够显著提高玉米的总产量,同时降低粗蛋白和粗脂肪等营养物质的含量^[8]。随着种植密度的增加,青贮玉米的产量呈现出先升后降的趋势,而不是正相关关系^[9-10]。有研究认为,不同品种之间种植密度对粗蛋白含量和淀粉含量的影响存在显著差异,但总体上与密度呈负相关^[11]。在确定适宜的种植密度时,需要考虑品种和栽培条件的变化。同一地区下不同品种的株型、株高和绿叶数存在较大差异,因此,适宜的种植密度也会因品种而异^[12]。

目前酒泉地区有关青贮玉米的研究主要集中在品种选育和筛选方面,适合酒泉地区青贮玉米种植密度筛选研究还鲜有报道。因此,积极探索青贮玉米配套合理的种植密度,为试验区青贮玉米生产技术提供优化依据,提升青贮玉米的产量、品质及经济效益,对保证玉米增产,促进酒泉绿色畜牧产业高质

量发展将起到巨大的推动作用。

1 材料和方法

1.1 玉米品种

大京九26品种(国审玉20180176),株型半紧凑,在甘肃、西北春玉米类型区作专用青贮玉米种植,由酒泉市敦煌种业股份有限公司提供。

1.2 试验地概况

试验地点位于酒泉市肃州区果园镇,属典型的大陆性气候,气候的整体特征为:气候干燥、降水少、蒸发强烈日照长。根据当地农业技术推广部门监测数据,该区域年平均气温7.3℃,年平均降水量87.7 mm,年平均蒸发量为2 148.8 mm,年平均日照时数为3 033.4 h,无霜期平均130 d。土壤条件为全氮1.16 g/kg、有机质21.1 g/kg、速效钾15.9 g/kg、速效磷1.83 g/kg, pH值8.3。

1.3 试验设计及田间管理

试验采用随机区组设计。在覆膜条件下人工穴播玉米种子,小区面积20 m²,行长5 m,8行区,行距0.5 m,将青贮玉米分为3个种植密度,分别是 6.75×10^4 株/hm²(低)、 8.25×10^4 株/hm²(中)和 9.75×10^4 株/hm²(高)。3次重复,品种为大京九26。试验区周围种植4行豫玉22设置保护行。以深翻耕+旋耕+耙磨方式平整土地,底肥施腐熟农家肥35 t/hm²,复合肥350 kg/hm²。3叶期间苗,5叶期定苗,玉米拔节期增施尿素150 kg/hm²,根据墒情适期漫灌浇水5次,各青贮玉米品种在乳熟期至蜡熟期间(灌浆至籽粒乳线1/2处)收获。

1.4 测定指标及方法

农艺性状的测定:在玉米收获期,每个小区田间随机选择10株,分别测量其株高、穗位高、茎粗、收获时绿叶数;株高和穗位高利用塔尺分别测量植株从地表到雄穗顶端以及果穗第一着生节的高度;茎粗利用游标卡尺测量单个植株雌穗下第2节茎部直径;持绿性由绿叶数所占叶片总数的比率计算。

产量的测定:玉米籽粒乳熟期至蜡熟期间从地上部10 cm处刈割,每个小区收获10 m²青贮玉米称取鲜重,换算每公顷鲜草产量。随后每个小区随机选取5株全部粉碎,充分混匀后,称取2 kg样品,在105℃条件下杀青1 h,调至65℃烘干至恒重,计算折干率。根据折干率换算每公顷干草产量。

营养品质测定:收获时每个小区随机选取5株玉米,全株粉碎充分混匀后,每份样品选取1 kg样品置于干燥箱内,105℃条件下杀青1 h,然后65℃条件下烘干48 h至恒重。粗蛋白(CP)、酸性洗涤

纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、粗脂肪(EE)和淀粉(Starch)依据《饲料分析与检测》^[13]测定。

1.5 数据的统计分析

试验数据采用 Excel 2010 软件进行汇总整理, SPSS 22.0 软件进行显著性分析,结果以“平均值±标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 青贮玉米不同种植密度对生物产量的影响

由表 1 可知,干草产量和鲜草产量随青贮玉米种植密度的增加而明显升高。当种植密度达到 9.75×10^4 株/hm² 时,干草产量和鲜草差量达到最大值,显著高于 6.75×10^4 株/hm² ($P<0.05$),但与 8.25×10^4 株/hm² 种植密度差异不显著 ($P>0.05$), 9.75×10^4 株/hm² 种植密度下干草产量较 8.25×10^4 株/hm² 和 6.75×10^4 株/hm² 分别增产 6.5%和 24.5%。

2.2 青贮玉米不同种植密度对农艺性状的影响

由表 2 可知,株高随着种植密度的增加呈上升趋势,种植密度为 9.75×10^4 株/hm² 与 8.25×10^4 株/hm² 时差异不显著 ($P>0.05$),但都显著高于 6.75×10^4 株/hm² ($P<0.05$);随着种植密度的增加穗位高逐渐变高, 9.75×10^4 株/hm² 较 8.25×10^4 株/hm² 差异不显著 ($P>0.05$),但相比 $6.75\times$

10^4 株/hm² 差异显著 ($P<0.05$);茎粗随种植密度的增大而变细,不同种植密度下均达到了显著水平 ($P<0.05$);绿叶数和持绿性随种植密度的增大而减少,绿叶数种植密度为 9.75×10^4 株/hm² 与 8.25×10^4 株/hm² 时差异不显著 ($P>0.05$),但都显著低于 6.75×10^4 株/hm² ($P<0.05$);持绿性各种种植密度下无明显差异 ($P>0.05$)。

2.3 青贮玉米不同种植密度对营养品质的影响

由表 3 可知,粗蛋白质含量随种植密度的增加呈逐渐明显下降趋势,各种种植密度下差异显著 ($P<0.05$);淀粉含量随种植密度的增加逐渐降低,各密度间差异不显著 ($P>0.05$);NDF 和 ADF 含量随种植密度的增加逐渐升高, 9.75×10^4 株/hm² 和 8.25×10^4 株/hm² 间差异不显著 ($P>0.05$),但都显著地高于 6.75×10^4 株/hm² 种植密度 ($P<0.05$);粗脂肪含量随着种植密度增加而升高, 9.75×10^4 株/hm² 和 8.25×10^4 株/hm² 种植密度下差异不显著 ($P>0.05$),但都显著地高于 6.75×10^4 株/hm² 种植密度 ($P<0.05$)。

3 讨论

玉米群体产量由品种的遗传特性、生态环境条件和种植密度等因素间的交互作用共同决定。种植密度对于单位面积最大产量有重要影响,是决定产

表 1 种植密度对青贮玉米生物产量的影响

Table 1 Effect of planting density on biomass yield of silage maize

种植密度	干草产量/(kg/hm ²)	鲜草产量/(kg/hm ²)	干湿比/%
6.75×10^4 株/hm ²	26 076.8±852.67b	79 020.62±2 583.84b	0.33
8.25×10^4 株/hm ²	30 486.52±1 968.57ab	87 104.36±5 624.48ab	0.35
9.75×10^4 株/hm ²	32 468.12±3 130.01a	98 388.25±9 484.88a	0.33

注:同行数据后相同字母或无字母为差异不显著 ($P>0.05$),不同字母为差异显著 ($P<0.05$),下表同。

表 2 种植密度对青贮玉米农艺性状的影响

Table 2 Effect of planting density on agricultural characteristics of silage maize

种植密度	株高/cm	穗位高/cm	茎粗/cm	绿叶数/片	持绿性/%
6.75×10^4 株/hm ²	349.73±13.49b	194.13±9.61b	28.32±2.99a	11.33±0.94a	0.87±0.06
8.25×10^4 株/hm ²	357.93±7.49a	204.07±10.1ab	26.03±1.31b	8.93±0.85b	0.83±0.05
9.75×10^4 株/hm ²	359.37±7.72a	214.47±23.99a	23.39±2.07c	8.8±0.98b	0.82±0.02

表 3 种植密度青贮玉米营养品质的影响

Table 3 Effect of planting density on nutrient quality of silage maize

种植密度	粗蛋白 /%	中性洗涤纤维 /%	酸性洗涤纤维 /%	粗脂肪 /%	淀粉 /(g/100 g)
6.75×10^4 株/hm ²	8.76±0.10a	44.98±0.33a	25.38±0.18a	2.09±0.07a	28.78±0.07a
8.25×10^4 株/hm ²	8.19±0.08b	47.65±3.73b	28.78±2.69b	2.21±0.21b	28.29±4.71a
9.75×10^4 株/hm ²	7.04±0.26c	48.74±4.03b	29.84±2.94b	2.26±0.21b	27.28±4.51a

量的主要因素。群体内干物质产量和鲜物质产量会随青贮玉米种植密度的增大而增加^[14]。王佳等报道,青贮玉米的鲜草及干草产量极显著受种植密度的影响($P<0.01$),当青贮玉米在高密度(9.75×10^4 株/hm²)种植条件下产量达到最高。本研究发现,大京九 26 干草产量和鲜草产量随种植密度的增加而升高,在密度(9.75×10^4 株/hm²)时产量最高,与上述研究结果相同。而与贾梦杨等^[15]报道,随种植密度的增加青贮玉米产量先升高后降低的结果不同。造成这种差异的原因可能与参试品种本身的耐密性,以及试验种植密度设置范围大小不一致有关。受自然环境、品种遗传等因素的影响,玉米最高产量与种植密度的临界阈值相关,在阈值范围内玉米产量随种植密度的增加而升高,表现为正相关,超过阈值时,产量随种植密度的增加而下降,表现为负相关。因此,合理的栽培措施需要根据生长地环境,细化分析适宜种植品种的合理种植密度以达到高产目的。

青贮玉米的农艺性状是影响玉米群体高产、选择合理种植密度的主要因素^[16-17],与青贮玉米总产量呈显著正相关的农艺性状包括株高、穗位高、茎粗和绿叶数^[18]。本研究发现,随种植密度的增加青贮玉米株高和穗位高逐渐升高,其中中密度和高密度株高较低密度差异显著($P<0.05$),穗位高低密度较高密度差异显著($P<0.05$),这与王晓娟等^[19]研究结果相似。本研究发现,青贮玉米茎粗随种植密度的增加明显变细,且不同密度下差异显著($P<0.05$),这与谷利敏等^[20]研究结果一致。随着种植密度的增加,单株玉米获取的光照相对减少,光合作用受到限制,茎秆的维管束数量及皮层厚度会减少,抑制茎秆的加粗生长^[21]。本研究发现,青贮玉米的持绿性随种植密度增加而降低,这与张晓等研究结果一致。种植密度的增加使玉米植株间根系竞争加剧,导致水分胁迫,植株对水分的利用效率降低,影响叶片持绿性^[22]。本研究还发现,玉米绿叶数随种植密度增加变少,且中密度和高密度较低密度差异显著($P<0.05$),原因可能是玉米植株会优先将有限的营养分配给生长较快的部分,较早生长的叶片叶绿体提前降解而导致叶片干枯。抗倒伏性、持绿性是评价青贮玉米群体产量和品质的重要指标,因此,在增加密度获得高产的同时要兼顾考虑农艺性状的协调。

玉米饲用品质鉴定中粗蛋白含量是决定玉米饲用营养价值的重要基础^[23]。NDF 和 ADF 作为反刍动物粗饲料采食量的重要指标,较低的含量有利

于提高其对粗饲料的采食量^[24]。高密度种植有利于青贮玉米产量提高,但会降低青贮玉米的营养品质。本研究发现随种植密度的增加,青贮玉米粗蛋白质的含量显著降低($P<0.05$),这与李渊浩的研究结果相似。NDF 和 ADF 随着种植密度的增加而逐渐增高,这与张佳阔^[25]的研究结果基本一致。本研究还发现,不同种植密度下淀粉含量差异不显著,但是呈现逐渐降低的趋势,而中密度和高密度粗脂肪含量较低密度显著增加($P<0.05$),这与底姝霞等^[26]研究结果一致。可见随种植密度的增加青贮玉米的品质有所下降,原因可能是玉米植株间的透风性和透光性由于种植密度的增加而降低,从而影响整个群体的光能利用率,营养转换效率下降,同时,单个植株间对有限养分供给竞争加剧,致使养分供应不足,导致青贮玉米营养品质下降。值得注意的是虽然在一定范围内提高青贮玉米种植密度可以提高生物产量,但相应的会降低青贮玉米的整体营养价值。因此,结合当地生态环境和栽培技术措施合理增加种植密度是保证营养品质的前提。大京九 26 在密度 6.75×10^4 株/hm²~ 9.75×10^4 株/hm² 范围内,随着密度的增加,产量不断增加,但是营养品质却一直呈现下降趋势。综合兼顾产量和品质以及农艺性状,大京九 26 品种在酒泉适应种植密度为 8.25×10^4 株/hm²。

参考文献:

- [1] 穆怀彬. 近红外光谱技术在玉米营养品质和青贮玉米品质评定中的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [2] 潘金豹,张秋芝,郝玉兰,等. 青贮玉米选择的策略与目标[J]. 北京农业,2002(11):27-28.
- [3] 张晓,苏亚军,王 瑛,等. 品种和密度对青贮玉米生物量与农艺性状的影响[J]. 饲料研究,2022,45(15):88-93.
ZHANG X,SU Y J,WANG Y,et al. Effect of variety and density on silage maize biomass and agronomic traits[J]. Feed Research,2022,45(15):88-93.
- [4] 李渊浩. 宁夏不同生态区青贮玉米品种和种植密度对产量与品质影响研究[D]. 银川:宁夏大学,2022.
- [5] 屈绳娟. 施氮量与种植密度对青贮玉米产量和品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [6] 王启现. 我国玉米产业形势分析与栽培学科前景展望[J]. 玉米科学,2008,(4):35-38.
- [7] 肖 旭. 青贮玉米和饲用甜高粱不同密度与施肥技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2020.
- [8] 王 佳,李 阳,贾倩民,等. 种植密度与施氮对河西灌区青贮玉米产量与品质及水分利用效率的影响[J]. 西

北农业学报,2021,30(1):60-73.

WANG J, LI Y, JIA Q M, et al. Effects of planting density and nitrogen application on yield, quality and water use efficiency of silage maize in Hexi irrigation region[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(1): 60-73.

[9] 庄克章, 吴荣华, 张春艳, 等. 种植密度对不同类型玉米青贮产量和营养价值的影响[J]. *作物杂志*, 2019(6): 140-144.

[10] 刘学俭, 张宝龙, 张长勇, 等. 种植密度对青贮玉米高油 106 产量及品质的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2012(2): 32-34.

LIU X J, ZHANG B L, ZHANG CH Y, et al. Effects of different densities on yield and quality of silage maize Gaoyou106 [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2012(2): 32-34.

[11] 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.

HUA H L, BIAN Y L, LI G SH, et al. Effects of planting density and nitrogen fertilizer rate on biological yield and quality of silage maize[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2014, 30(4): 81-84.

[12] 邵书静. 氮磷钾配施对饲用玉米产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.

[13] 陈桂银, 任善茂. 饲料分析与检测[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.

[14] 陈 琦, 汪兰英, 赵小林, 等. 施氮量和种植密度对青贮玉米产量和品质的影响[J]. *中国饲料*, 2024(1): 141-148.

CHEN Q, WANG L Y, ZHAO X L, et al. Effect of nitrogen application rate and planting density on yield and quality of silage maize varieties[J]. *China Feed*, 2024(1): 141-148.

[15] 贾梦杨, 姚泽英, 李长青, 等. 种植密度对青贮玉米生长发育、产量和品质的影响[J]. *饲料研究*, 2020, 43(10): 105-108.

JIA M Y, YAO Z Y, LI CH Q, et al. Effect of planting density on growth, yield and quality of silage maize [J]. *Feed Research*, 2020, 43(10): 105-108.

[16] 徐 婷, 樊景胜, 连永利, 等. 不同种植密度对齐齐哈尔地区青贮玉米产量和品质影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(1): 49-51.

XU T, FAN J SH, LIAN Y L, et al. Effects of different planting densities on yield and quality of silage maize in Qiqihar area [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2020(1): 49-51.

[17] 袁慧敏. 不同播期和密度对冀西北地区青贮玉米产量及品质的影响[D]. 张家口: 河北北方学院, 2019.

[18] 郭 莉, 马现斌, 胡 飞, 等. 夏播粮饲通用型青贮玉米品种农艺性状与生物学产量的相关性分析[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(22): 24-28.

GUO L, MA X B, HU F, et al. Correlation analysis of agronomic characters and biological yield of summer-sowing food and fodder dual-purpose silage maize[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(22): 24-28.

[19] 王晓娟, 何海军, 寇思荣, 等. 种植密度对不同品种青贮玉米生物产量和品质的影响[J]. *草业科学*, 2019, 36(1): 169-177.

WANG X J, HE H J, KOU S R, et al. Effect of different planting densities on bio mass yield and quality for various varieties of silage maize[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(1): 169-177.

[20] 谷利敏, 乔江方, 张美微, 等. 种植密度对不同耐密夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. *玉米科学*, 2017, 25(5): 91-97.

GU L M, QIAO J F, ZHANG M W, et al. Effect of planting density on stalk characteristics and lodging-resistant capacity of different density-resistant summer maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(5): 91-97.

[21] 任佰朝, 李利利, 董树亭, 等. 种植密度对不同株高夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. *作物学报*, 2016, 42(12): 1 864-1 872.

REN B ZH, LI L L, DONG SH T, et al. Effects of plant density on stem traits and lodging resistance of summer maize hybrids with different plant heights[J]. *Acta Agonomica Sinica*, 2016, 42(12): 1 864-1 872.

[22] YAN Y Y, DUAN F Y, LI X, et al. Photosynthetic capacity and assimilate transport of the lower canopy influence maize yield under high planting density[J]. *Plant Physiology*, 2024, 195(4): 2 652-2 667.

[23] 陈亮亮. 种植密度和施氮量对粮饲兼用玉米产量和饲用品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.

[24] 朱顺国, 邢 壮, 张 微, 等. 玉米秸秆 NDF 与 ADF 含量变化规律的研究[J]. *中国奶牛*, 2001(1): 24-26.

ZHU SH G, XING ZH, ZHANG W, et al. Study on changing low of contents of NDF and ADF in corn straw[J]. *China Dairy Cattle*, 2001(1): 24-26.

[25] 张佳阔. 氮密互作对青贮玉米生物性状、产量及青贮品质的影响[D]. 张家口: 河北北方学院, 2019.

[26] 底妹霞, 苏东升, 朱 媛. 不同种植密度对青贮玉米产量和营养价值的影响[J]. *中国饲料*, 2018(12): 26-30.

DI SH X, SU D SH, ZHU Y. Effects of different planting densities on yield and nutritive value of silage corn [J]. *China Feed*, 2018(12): 26-30.