

钱寅森,武启迪,季中亚,等.我国青贮玉米生产与加工研究进展[J].江苏农业科学,2021,49(23):41-46.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.007

我国青贮玉米生产与加工研究进展

钱寅森^{1,2}, 武启迪^{1,2}, 季中亚^{1,2}, 施雨^{1,2}, 朱广龙², 周桂生^{1,2}

(1. 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; 2. 扬州大学农业科技发展研究院, 江苏扬州 225009)

摘要:我国 2015 年启动“粮改饲”试点计划后,青贮玉米生产发展明显加快,但在实际生产中仍存在产量低、品质不合格、青贮霉变等问题,限制了青贮玉米生产和加工的进一步发展。综述了近年来我国在青贮玉米高产栽培和青贮饲料加工方面的技术进展,提出了促进青贮玉米生产和加工的建议,主要包括:(1)根据气候和种植条件选择品种。(2)根据品种特性制定种植密度。(3)适当早播延长生育期。(4)优化肥水运筹。(5)优化青贮过程,适当添加乳酸菌和化学物质,提升青贮品质,延长稳定性;选择阻氧能力强的青贮装置,避免变质;大规模生产密度不超过 600 kg/m³,维持青贮品质。(6)构建种植-加工全程机械化生产体系。

关键词:粮改饲;青贮玉米;生产加工;高产栽培;青贮品质;机械化

中图分类号:S816.5⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)23-0041-06

青贮玉米是一种在乳熟期至蜡熟期间收获,可直接青贮成饲料的玉米种类。近年来,我国畜牧业发展迅速,青贮玉米种植快速发展,在较大程度上缓解了畜牧业对于饲料巨大的需求。与传统的玉米相比,青贮玉米植株高大,茎叶粗纤维含量低,含糖量丰富,含有优质蛋白质,营养价值高。100 kg 玉米籽粒的饲用价值相当于 120 kg 燕麦、120 kg 高粱或 130 kg 大麦^[1]。玉米青贮后营养价值更高,且秸秆得到充分利用,避免了秸秆燃烧带来的大气污染。与种植普通粒用玉米相比,种植青贮玉米经济效益更高。如广西壮族自治区农民种植青贮玉米能比粒用玉米增收约 270 元/667 m²,增收比例达到 17.65%^[2]。

我国在 2015 年启动“粮改饲试点”计划,青贮玉米生产发展明显加快,某些地区推出了种植补贴等鼓励和促进措施。在国家政策不断推行、地方大力推广种植加强补贴的条件下,种青贮玉米如何获得最高产?收获后做饲料营养价值如何最大化?这 2 个问题也就显得更加重要。鉴于此,本文在综述前人青贮玉米高产栽培技术及加工技术方面的

研究进展基础上,提出进一步促进青贮玉米生产和加工的建议,为青贮玉米高质量发展提供参考。

1 我国青贮玉米生产现状

2015 年前,我国青贮玉米种植面积相对较少,一般稳定在 20 万~30 万 hm²。我国在 2015 年启动“粮改饲试点”计划,青贮玉米推广种植速度加快,试点种植面积在 2016 年增加到 40.9 万 hm²,2017 年为 66.6 万 hm²,2019 年达到 100 万 hm²^[3]。我国在青贮玉米品种审定上也逐步完善了标准,2011 年国家发布了青贮玉米分级标准(GB/T 25882—2010《青贮玉米品质分级》),2016 年通过了青贮玉米关于生物产量、抗倒性、抗病性的审定标准。

与发达国家相比,我国青贮玉米品种在产量和品质上旗鼓相当,我国推广种植的品种干物质含量及淀粉含量已达到或接近发达国家的水平^[4],且春播青贮玉米的产量略高于发达国家。但在种植面积上我国与发达国家存在较大差距,美国和欧洲青贮玉米种植面积分别达到 266.67 万 hm² 和 613.33 万 hm²,欧洲青贮玉米种植面积占了玉米总面积的 42%,而我国仅为 4%^[5]。

2 青贮玉米高产栽培技术

品种、光照、温度、养分、水分是影响作物生长和产量的关键因子。青贮玉米实现高产需要协调好各关键生长因子间的关系和作用。适宜的品种是获得高产的基础和前提。播种期不同,青贮玉米

收稿日期:2021-09-03

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFE0108100);江苏省林业科技创新与推广项目(编号:LYKJ(2019)47);兴化乡村振兴研究院项目(2019)资助。

作者简介:钱寅森(1998—),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要从事作物逆境生理研究。E-mail:qyshd80813@163.com。

通信作者:周桂生,博士,教授,主要从事作物逆境生理研究。

E-mail:gszhou@yzu.edu.cn。

生长过程的温、光、水、气条件就会差异很大。那么播期与产量之间的关系如何? 种植密度会影响光能利用和养分的效率, 从而影响植株的光合作用。究竟什么样的种植密度既充分利用光能和地力, 又能实现高产? 不同生育期的青贮玉米对养分需求存在差异。何时需要补充养分和水分才能有利于生长? 上述问题都是近些年研究的重点。

2.1 品种

青贮玉米在播种后顺利出苗是高产丰收的基础, 播种前选择合适的品种则是关键。应根据当地气候条件与积温选择与生育期匹配的品种, 还应根据青贮需要选择抗倒伏能力强的品种。青贮玉米一旦发生倒伏会沾染更多的杂菌, 青贮时的发酵水平难以控制, 质量无法保证^[6]。降水量也是选种的前提, 雨水充足则选择中早熟品种, 常年干旱则选择抗旱能力强的品种^[7]。为了避免田间病虫害侵染种子, 尽量选择带包衣的种子。

2.2 播种期

播种时间不同改变的是青贮玉米生长过程中光照、温度、水分等因子, 从而对青贮玉米的产量产生影响。由于经纬度的差异, 各地区积温、光照、降水量不同, 不同地区的播期存在一定差异, 但播期对产量的影响呈现一定的规律性。张翼飞等认为, 播期过晚会导致生育期缩短, 植株矮小, 产量变低, 在松嫩平原西部上青贮玉米适宜的播期应为 5 月中上旬^[8]。赵先丽等研究发现, 春播玉米生育期会随播种时间推迟而缩短, 每推迟播种 1 d, 生育期平均减少 0.39 d^[9]。不同播期研究结果表明, 营养生长期相比生殖生长期缩短的天数更多。同时播期对青贮玉米干物质有明显影响, 早播玉米干物质积累速度快持续时间长, 晚播玉米生育进程缩短, 干物质积累速率减弱^[10]。所以适当早播可以延长青贮玉米营养生长时间, 同时增加株高提高整体产量。刘勇等人在比较播期对于青贮玉米的病害影响时发现, 在四川盆地晚播(5 月 10 日)的青贮玉米相对于早播(4 月 4 日)和中播(4 月 22 日)更易于患锈病和大小斑病, 在综合病害发生情况与产量水平后认为, 中播(4 月 22 日)青贮玉米更适合四川地区栽培生产^[11]。

综合前人研究, 青贮玉米适期早播可以延长生育期, 延长营养生长时间, 对青贮玉米产量的提升有很大帮助。同时早播青贮玉米可以避开夏季高温多雨的天气, 减少病虫害的发生在一定程度上可以提高产量。对于条件限制只能晚播的青贮玉米,

在播后应当加强田间管理生育后期进行追肥和调节灌溉, 延缓叶片衰老, 增加光合产物积累。

2.3 种植密度

种植密度通过改变青贮玉米生长过程中的光照、水分和养分等条件, 影响植株生长发育, 从而影响青贮玉米的产量。密度的增加使得单位面积青贮玉米生物产量增加, 从而提高了总体产量, 但会明显降低饲用品质^[12]。在合理密植条件下, 青贮玉米才能同时获得较高的生物产量和品质。在生育前期, 密度会影响青贮玉米的株高, 密度越大, 株高越高。在生育后期, 密度对株高的影响不显著, 但高密度种植会对茎粗产生显著影响, 密度越大茎粗越小^[13]。庄克章等研究表明, 随着种植密度的提高, 雅玉 8 号和登海 605 产量和籽粒产量均先升高后降低, 在山东省临沂地区推荐的种植密度为 75 000 株/hm²^[14]。贾梦杨等认为, 青贮玉米产量随着密度的上升先增大后减小, 在冀西北地区适应推广的密度为 79 500 株/hm²^[15]。密度的选择不仅由种植地区的生长环境决定, 品种之间的差异也是影响产量的关键因素。于德花等在不同密度条件下对雅玉青贮 8 号、京科青贮 516、黎民 518 这 3 个品种进行比较, 发现京科青贮 516 边行优势强, 但耐密程度显著低于其他品种, 同时密度过大会导致玉米穗秃尖长度增加, 果穗的穗长、穗粗、穗行数、行粒数逐渐减少^[16]。

总之, 不同地区光照和水分条件不同, 品种间的耐密程度存在一定差别, 适宜的种植密度才能使得青贮玉米产量最大。在有条件的前提下, 须针对不同地区和品种进行试验以确定适宜种植密度。

2.4 肥料运筹

青贮玉米需肥较多, 合理的肥料运筹不仅有利于获得高产, 同时还能提升品质。相关研究表明, 氮肥在青贮玉米生育过程中平均增产幅度为 28.1%, 磷肥为 25.3%, 钾肥为 18.1%^[17]。氮肥增产效率最高, 增施氮肥也是青贮玉米追肥中最常使用的措施。除增加营养外, 合理施氮还能显著提高土壤微生物数量、酶活性^[18]。张佳阔等研究发现, 施氮量的增加使得青贮玉米株高、茎粗和 SPAD 值也随之增加, LAI 基本不变, 产量会随着施氮量的增加而上升, 但达到产量极限后再增施氮肥会导致产量下降^[19]。徐艳霞等在盐碱地的试验也得出类似结论, 青贮玉米产量随施氮量的增加呈先上升后下降的趋势, 产量最大的氮肥施用量在品种间会存在

差异^[20]。但王佳等研究认为,增施氮肥并不能在拔节期与大喇叭口期提升青贮玉米的生物产量,施氮主要是在生育后期促进玉米生长和干物质的积累,追肥后的产量较不追肥明显升高^[13]。单一施用氮肥并不能全面促进产量的提升,不同肥料的配合施用往往能得到较大的效益。王海燕等通过比较不同的施肥类型后认为,有机肥与化肥配合施用可以延长青贮玉米叶片光合功能期,促进群体干物质积累,从而增加产量^[21]。侯云鹏等研究表明,在一定氮肥、钾肥施用基础上,增施磷肥可提高玉米产量,同时促进籽粒对于氮钾元素的吸收,但玉米产量不会随着施磷水平的提高持续增加^[22]。

地区不同,土壤肥力也就不同,施肥方式应做到因地制宜。青贮玉米基肥可以通过多种肥料配合施用也可以施专用玉米复合肥,在拔节期、大喇叭口期、吐丝期追施氮肥,可很大程度提高青贮玉米的产量^[23]。同时对于氮肥的使用要求在合理层面,过量的氮肥会造成青贮玉米群体营养失衡,应当在促进产量上升的基础上结合经济效益合理施用,达到少施肥获高产的水平。

2.5 水分管理

单宁等在比较土壤水、肥、热 3 因素对青贮玉米株高、光合作用和产量的作用后,认为灌溉量的影响效果会大于肥料和温度^[24]。董越也得出类似结论,认为灌水才是影响株高和茎粗的主要因素,其次才是氮肥^[25]。由此可见灌溉水平也是决定产量的重要因素之一。

适量灌溉能够显著提高青贮玉米的全株氮素吸收量,提高氮素利用效率,但玉米植株并非每个时期都对水分都有迫切需求。Jia 等对于西北半干旱区的研究表明,青贮玉米在 11 叶前需水较少,此时水分亏缺甚至能够促进植株根系伸长,减少倒伏,为高产打下基础^[26]。而在大喇叭口期增加灌溉量能增加青贮玉米株高和干物质量^[27]。董姗等认为,在散粉期和灌浆期进行 2 次灌溉可显著提高玉米鲜秸秆产量^[28]。适量节水会增加茎粗,但过度节水灌溉会显著影响产量^[29]。

综合前人研究^[30-32],在青贮玉米播种至出苗间适当减少水分灌溉,可以促进根系发育,增加根冠比减少后期发生倒伏,在生育后期如大喇叭口期、灌浆期应适当增加灌溉。

3 青贮品质优化研究

在青贮玉米生育期达到乳熟末期后可以进行

收获,成批的青贮玉米在收获后如何储存成为一个难题。如若直接进行堆放保存,玉米秸秆饲用品质会明显下降,营养价值也会流失。通常情况下,人们会进行青贮加工保存,这样不仅保持了茎叶鲜嫩多汁,而且发酵后产生的乳酸等物质还能增强饲料适口性,提高营养价值。在发酵过程中如何减少好氧细菌和霉菌繁殖、增加益生菌从而提高品质和营养价值,在青贮结束后如何延长饲料保存时间成为近年来的研究重点。

3.1 收获期和刈割高度对青贮品质和营养的影响

适宜的收获期是决定青贮玉米最大产量和最佳品质的关键。王丽学等研究认为,收获期延长导致青贮玉米干物质含量及淀粉、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber,简称 NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber,简称 ADF)含量显著增加,但粗蛋白含量会降低^[33]。邵春雷等研究也得出了相同结论,认为青贮玉米在达到乳熟期后,随着收获时间推迟,NDF 和 ADF 的含量逐渐增加,粗蛋白含量在乳熟中后期最高,在蜡熟期最低^[34]。所以,适宜的收获期应在乳熟中后期、蜡熟期之前。

刈割高度也会对青贮玉米产量和品质产生影响。过低的刈割高度会夹杂泥土,青贮时影响品质,而过高又会降低产量。前人研究认为,刈割高度的增加明显降低了青贮玉米中 NDF 和 ADF 的含量^[33],王文才等认为,不同留茬高度对玉米青贮饲料的养分含量影响不显著^[35]。这种差异性可能是由不同专用品种引起的。但过高的刈割高度会导致产量下降、效益降低,在综合考虑产量和经济效益的基础上刈割高度应在 15~25 cm 为好。

3.2 添加剂对青贮品质和营养成分影响

3.2.1 乳酸菌 青贮饲料的发酵是一个多种微生物参与的复杂过程。在无氧的条件下,厌氧乳酸菌会大量繁殖,使得 pH 值维持在弱酸性,从而避免了青贮饲料的变质问题。同时乳酸菌还能分解糖分,改善青贮品质^[36]。青贮发酵前期基本以同型发酵为主,后期以异型发酵为主。韦方鸿等在对于同型和异型乳酸菌作为青贮玉米发酵剂的研究中发现,虽然 2 种发酵剂均能改善青贮品质,但同型乳酸菌改善效果显著优于异型乳酸菌^[37]。同型发酵乳酸菌的有氧稳定性却不如异型发酵乳酸菌,但复合接种异型与同型发酵乳酸菌能减少青贮过程中的腐败^[38]。张适等比较了 7 种不同乳酸菌对青贮品质的影响,认为副干酪乳杆菌 F2-6 和布氏乳杆菌

B2-2 能够显著降低 NDF 含量,更适合作为内蒙古东部玉米青贮发酵的乳酸菌接种剂^[39]。

在选定好发酵乳酸菌类型后,发酵过程中乳酸菌的添加量也是决定青贮品质的重要因素。张相伦等比较了 4 种不同乳酸菌数对玉米青贮发酵的影响,发现不同的乳酸菌数量对于青贮后色泽气味等感官指标均影响不大,但乳酸菌添加量的增加能够显著减少霉菌数量,提高粗蛋白(crude protein,简称 CP)、NDF 含量,降低水溶性碳水化合物(water soluble carbohydrate,简称 WSC)含量^[40]。毛翠等也得出类似结论,认为在青贮发酵 45 d 时,CP 含量会随乳酸菌数量的增加呈现线性上升趋势,作为发酵底物的 WSC 则会显著降低^[41]。但乳酸菌的数量只能在适量的范围进行添加,过多的添加量并不会持续对品质提升产生影响。

3.2.2 酶制剂 纤维素酶,对玉米秸秆中的纤维有明显降解作用,是青贮过程中最常添加的酶制剂。赵政等研究发现,在青贮过程中添加 0.3% 的纤维素酶能够使腐败率降低 1.4%,同时提高青贮品质^[42]。陈明等在发酵过程中添加淀粉酶和糖化酶,发现淀粉酶显著提高了乳酸菌含量及乙酸和丙酸浓度,而糖化酶对品质则无影响^[43]。刘辉等在玉米秸秆青贮中添加布氏乳杆菌和纤维素酶后,发现氨态氮(ammonia nitrogen,简称 $\text{NH}_3\text{-N}$)、NDF 和 ADF 含量显著降低,并且混合添加的效果要优于单一添加^[44]。毛建红等从微观结构方面解释了复合酶制剂提升品质的机制,由 FTIR 图谱发现,酶制剂的添加在发酵过程破坏了一OH、—CH、C=O 基团,特征官能团的吸收峰明显减弱,表明青贮过程中玉米秸秆中的纤维素、木质素等发生了改变或被酶制剂降解,降低青贮中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、NDF、ADF 的含量^[45]。

3.2.3 化学物质 研究表明,青贮过程中添加乙酸可以有效提高有氧稳定性,延长饲料的保存时间^[46]。袁仕改等认为,全株玉米青贮的发酵品质已经够好,添加乳酸菌反而会消耗部分能量,对品质改善效果不明显,而丙酸的使用能抑制不良微生物,同时使得有氧稳定性得到提升^[47]。Santos 等认为,添加尿素青贮后的饲料干物质回收率明显升高,甚至尿素还可能存在抗微生物的作用^[48],减少了青贮过程的损失,提高了玉米青贮饲料的营养价值和有氧稳定性。此外,化学添加剂如甲酸、乙酸、丙酸、尿素的使用并不会直接对品质产生影响,但能明显提高青贮后饲料的有氧稳定性,延长饲料的

使用时限。

3.3 加工方式对青贮品质和营养成分影响

全程机械化的操作在发达国家得到广泛应用。全株玉米青贮饲料可以通过安装在饲料收割机上的谷物处理器、回收筛或固定的辊磨机进行机械加工。机械化加工可以改善青贮特性,减少青贮过程中的干物质损失,并降低由玉米籽粒破碎和玉米秸秆剪切而造成的淀粉和纤维流失。利用机械加工的玉米青贮饲料喂养奶牛,牛奶产量提高 0.2 ~ 2.0 kg/d,且牛奶蛋白质含量会持续提高^[49]。与去穗玉米青贮效果相比,全株玉米青贮的优势表现在更高的 CP 含量和较低的 NDF、ADF 含量。由于全株青贮的饲料中含有籽粒,喂养肉牛能比去穗玉米青贮饲料增加 10% 的产量^[50]。因此,在生产中应大力推广全株青贮技术。

加工制作环境通过影响密封性和阻氧能力从而促进厌氧发酵,营造较低的 pH 值发酵环境,干预发酵过程中好氧细菌的繁殖。王旭哲等在利用发酵罐生产青贮饲料的研究中发现,随着紧实度的增大,青贮饲料品质也会随之提升,但过大的紧实度不会使品质继续上升。紧实度 600 kg/m^3 为青贮玉米最适宜的发酵密度,此密度下氨态氮在总氮中水平低代表发酵品质好,同时有氧稳定性也最优^[51]。不同加工的切割技术在青贮中对品质也有不同影响,程光名等对青贮加工揉切成条状和切割成块状结构进行了比较,认为二者对青贮品质和营养价值的影响相差不大,但整体上切割组青贮后粗蛋白质含量要略高^[52]。程银华等比较了纵向拉丝、揉搓技术与传统横向铡切秸秆对发酵品质和菌落数的影响,认为秸秆揉丝微贮技术在整个发酵过程中的 pH 值始终低于传统横向铡切,乳酸菌数量也始终高于横向铡切,这是因为揉丝微贮饲料中加入了秸秆生物贮料调制剂,增加了分解纤维的菌落数,降低了 pH 值抑制霉菌的发展^[53]。在进行小规模青贮发酵生产时,不同的青贮袋也能对发酵品质产生很大的影响,EVOH 类型的青贮袋具有较好的阻氧能力,能为乳酸菌的发酵提供良好环境,发酵品质也由此提升^[54]。

机械化的加工方式不仅使得收获便利,还能提升青贮后的营养品质。机械化的流程应得到大力推广使用,同时应推广全株玉米青贮的加工方式来最大程度提高品质。在进行青贮时应选择密封能力强的青贮袋,在青贮密封窖时,应使用阻氧能力强的材料,营造低氧环境促进青贮发酵。

4 结论与展望

已有研究表明,品种、播期、密度、肥料、水分均对青贮玉米产量产生影响,但总体趋势存在规律性。应根据当地生态条件、产量和品质需求选择适宜品种。播种期的推迟会影响生育进程,导致减产,建议适期早播以延长生育期,减少病害。密度和肥料施用对产量影响的表现均是先上升后下降,二者组合后对产量可产生 $1+1>2$ 的效果,但由于田间试验存在多种变数和误差,在未来仍需开展研究。施肥模式为基肥加追肥,追肥施用氮肥即可,推荐在拔节期、大喇叭口期、吐丝期追肥。水分灌溉应在苗期至拔节期减少,通过发展强壮根系减少倒伏,在生育后期合理灌水增加产量。

青贮玉米的收获时间应选择在乳熟中后期,在青贮前秸秆含水量应维持在 60% ~ 75%,同时推广机械化切割流程和全株青贮加工技术,最大程度保存品质。乳酸菌如布氏乳杆菌,酶制剂如纤维素酶和化学物质如丙酸等,可以作为青贮添加剂进行参考,在改善青贮品质的同时还能延长青贮后饲料保存时间。进行青贮发酵时尽可能选用密封能力强的装置,抑制青贮中好氧细菌繁殖,在大规模生产制作中密度尽量不超过 600 kg/m^3 。

应构建青贮玉米种植、加工一体化的生产流程,实现高产栽培技术和优质青贮加工技术相配套,形成高产优质的青贮玉米饲料生产产业链。种植加工一体化配套发展后,可避免种植业与加工业间沟通的时差问题,减少运输中不必要的损失,使青贮玉米保持在最佳含水量进行加工,保障品质和营养价值。

我国饲草产业已经进入蓬勃发展阶段,种植高产高品质饲草不仅可以满足畜牧业发展需要,还可以改善农业生态环境,提高农村经济水平,优化产业结构,对我国乡村振兴发展具有重要意义^[55]。未来青贮玉米品种培育工作应倾向于培育高产、优质、抗倒能力强的专用品种,从国外引进优良种质资源促进新型品种选育和繁育。栽培研究应针对不同品种、地区和增产手段进行研究比较,利用青贮玉米易栽培的特性在盐碱地、沙壤地等地块进行试验,挖掘不同类型土地生产潜力。重点研究适用于大规模生产所需的无公害绿色种植技术和高品质的青贮饲料生产技术^[3]。

农业的根本出路在于机械化,我们应积极主动

吸收国外成功经验,加大对青贮玉米全程机械化技术研究和配套机具研发,建立青贮玉米机械化生产示范区,宣传推广全程机械化的优势^[56-57]。对种植业与加工业统一管理,加大政策补贴投入,增强技术指导,完善产品加工安全标准,健全饲草产品质量标准体系促进农业和畜牧业可持续发展^[58]。

参考文献:

- [1] 汤晓洁,张文盛,冯广垚,等. 全株青贮玉米利用技术[J]. 养殖与饲料,2021,20(4):46-47.
- [2] 苏超光,姚顺. 广西粮改饲五年成气候:试点县从2个增加到15个,调减籽粒玉米种植48.4万亩[N]. 广西日报,2021-07-14(6).
- [3] 卢欣石. 2020 我国饲草商品生产形势分析与 2021 年展望[J]. 畜牧产业,2021(3):31-36.
- [4] 丁光省. 我国青贮玉米发展现状及发展方向[J]. 中国乳业,2018(4):2-8.
- [5] 丁光省. 从欧美青贮玉米产业发展看我国之差距[J]. 中国乳业,2019(4):30-35.
- [6] 王世英,韩润英,褚景芬. 青贮玉米品种选择几个关键因素[J]. 中国畜禽种业,2018,14(9):41.
- [7] 胡秀荣. 玉米高产栽培技术综述[J]. 江西农业,2018(10):6-7.
- [8] 张翼飞,于崧,营立群,等. 播期对松嫩平原西部青贮玉米生物产量和品质的影响[J]. 中国饲料,2019(14):43-47.
- [9] 赵先丽,李丽光,蔡福,等. 播期对辽南地区春玉米生育进程及产量影响的试验研究[J]. 气象与环境学报,2017,33(6):66-72.
- [10] 豆攀,李孝东,孔凡磊,等. 播期对川中丘区玉米干物质积累与产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2017,25(2):221-229.
- [11] 刘勇,周俗,张玉,等. 不同品种与播期和播种量对青贮玉米病害发生的影响[J]. 草原与草坪,2019,39(6):105-110.
- [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.
- [14] 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.
- [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.
- [16] 于德花,陈小芳,毕云霞,等. 种植密度对不同株型青贮玉米产量及相关性状的影响[J]. 草业科学,2018,35(6):1465-1471.
- [17] 胡玉敏,程利,韩宝萍,等. 青贮玉米施肥效应及经济合理施肥量确定[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2017,38(1):18-22.
- [18] 赵靛. 氮、磷化肥用量对土壤养分和玉米产量的影响[D]. 石河子:石河子大学,2014:1-86.
- [19] 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.
- [20] 徐艳霞,丁昕颖,黄新育,等. 轻度盐碱地氮肥水平对青贮玉米

- 生物产量和品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2017(10): 181-183.
- [21]王海燕,崔超,王靖,等. 有机肥与化肥配施对青贮玉米产量及不同层位叶片光合特性的影响[J]. 安徽农学通报,2021, 27(4):26-29.
- [22]侯云鹏,杨建,孔丽丽,等. 不同施磷水平对春玉米产量、养分吸收及转运的影响[J]. 玉米科学,2017,25(3):123-130.
- [23]孙洪仁,赵雅晴,曾红,等. 青贮玉米施肥的理论和实践[J]. 中国奶牛,2018(12):55-59.
- [24]单宁,田军仓,闫新房,等. 水肥热耦合对滴灌青贮玉米生长、光合及产量的影响[J]. 节水灌溉,2021(9):12-17.
- [25]董越. 水氮互作对青贮玉米产量和水氮利用效率的影响研究[D]. 保定:河北农业大学,2021.
- [26]Jia Q M,Xu Y Y,Ali S,et al. Strategies of supplemental irrigation and modified planting densities to improve the root growth and lodging resistance of maize (*Zea mays* L.) under the ridge-furrow rainfall harvesting system[J]. Field Crops Research,2018,224: 48-59.
- [27]王雅楠. 不同滴灌量对青贮玉米光合特性及产量品质的影响研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2020.
- [28]董姗,王皓,贾倩民,等. 灌溉模式与种植方式对河西地区青贮玉米生长、产量和经济效益的影响[J]. 草地学报,2020,28(4):1111-1120.
- [29]王艺萱. 河套地区节水灌溉对青贮玉米产量及品质的影响研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [30]Jia Q M,Sun L F,Wang J J,et al. Limited irrigation and planting densities for enhanced water productivity and economic returns under the ridge-furrow system in semi-arid regions of China[J]. Field Crops Research,2018,221:207-218.
- [31]加孜拉,白云岗,曹彪. 北疆寒旱区不同水分处理对膜下滴灌青贮玉米植株生长与产量的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(16):6-14.
- [32]刘虎,尹春艳,张瑞强,等. 北疆干旱荒漠地区膜下滴灌青贮玉米水肥耦合效应研究[J]. 节水灌溉,2018(3):14-18.
- [33]王丽学,霍文娟,刘景喜,等. 全株玉米青贮收获时期和留茬高度研究[J]. 山西农业科学,2016,44(5):609-613.
- [34]邵春雷,诸葛青,王冠东,等. 不同刈割时间和高度对青贮玉米营养成分的影响[J]. 浙江畜牧兽医,2018,43(4):3-4.
- [35]李文才,董起飞. 留茬高度对青贮玉米产量和品质的影响[J]. 中国奶牛,2018(1):57-60.
- [36]盘道兴,李凡,何鸿源,等. 不同微生物菌剂对全株玉米青贮感官评价效果的影响[J]. 粮食与饲料工业,2021(3):26-29.
- [37]韦方鸿,付浩,廖胜昌,等. 不同发酵类型乳酸菌对全株玉米青贮发酵品质及营养价值的影响[J]. 耕作与栽培,2017(6): 8-10.
- [38]付薇,陈伟,韩永芬,等. 添加不同乳酸菌对玉米秸秆青贮有氧稳定性影响的研究[J]. 畜牧与饲料科学,2019,40(9): 45-49.
- [39]张适,吴琼,尤欢,等. 添加不同乳酸菌对全株玉米青贮发酵品质的影响[J]. 饲料研究,2019,42(9):55-58.
- [40]张相伦,游伟,赵红波,等. 乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质及营养成分的影响[J]. 动物营养学报,2018,30(1):336-342.
- [41]毛翠,刘方圆,宋恩亮,等. 不同乳酸菌添加量和发酵时间对全株玉米青贮营养价值及发酵品质的影响[J]. 草业学报, 2020,29(10):172-181.
- [42]赵政,陈学文,朱梅芳,等. 添加乳酸菌和纤维素酶对玉米秸秆青贮饲料品质的影响[J]. 广西农业科学,2009,40(7): 919-922.
- [43]陈明,禹爱兵. 外源淀粉酶对水化玉米青贮饲料发酵、营养价值及体内消化率的影响[J]. 中国饲料,2020(6):58-62.
- [44]刘辉,李金鑫,鹿瑶,等. 布氏乳杆菌和纤维素酶对青贮玉米秸秆品质影响研究[J]. 畜牧与饲料科学,2021,42(1):34-39.
- [45]毛建红,陶莲,刘融,等. 活菌制剂和复合酶制剂对青贮玉米秸秆化学组成及纤维微观结构的影响[J]. 动物营养学报, 2018,30(7):2763-2771.
- [46]邱小燕,原现军,郭刚,等. 添加糖蜜和乙酸对西藏发酵全混合日粮青贮发酵品质及有氧稳定性影响[J]. 草业学报,2014, 23(6):111-118.
- [47]袁仕改,陈超,张明均,等. 添加剂对温湿生境青贮玉米发酵品质及有氧稳定性的影响[J]. 草地学报,2018,26(4):942-947.
- [48]Santos A P M D,Santos E M,de Araújo G G L,et al. Effect of inoculation with preactivated *Lactobacillus buchneri* and urea on fermentative profile, aerobic stability and nutritive value in corn silage[J]. Agriculture,2020,10(8):335.
- [49]Johnson L,Harrison J H,Hunt C,et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review[J]. Journal of Dairy Science,1999,82(12): 2813-2825.
- [50]许庆方,张翔,董宽虎,等. 不同品种玉米植株3种调制方法效果比较[J]. 草地学报,2010,18(1):67-72.
- [51]王旭哲,贾舒安,张凡凡,等. 紧实度对青贮玉米有氧稳定期发酵品质、微生物数量的效应研究[J]. 草业学报,2017,26(9): 156-166.
- [52]程光民,张继霞,司元明,等. 不同加工处理方式对全株玉米青贮饲料发酵品质、营养价值和微生物变化规律的影响[J]. 中国饲料,2020(19):126-130.
- [53]程银华,雷雪芹,徐廷生,等. 玉米秸秆揉丝微贮与传统青贮饲料发酵过程中pH和微生物的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(5):17-21.
- [54]张居正,宋国君,刘忠民,等. 不同阻氧能力青贮袋对玉米青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J]. 中国饲料,2019(17):58-63.
- [55]黄建辉,薛建国,郑延海,等. 现代草产品加工原理与技术发展[J]. 科学通报,2016,61(2):213-223.
- [56]王连锐,方佳梦,王志文,等. 青贮玉米全程机械化生产技术与配套机具的研究现状及发展思路[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):47-53.
- [57]赵丹丹,万冰彬,陶应虎. 我国农业发展历程分析:基于要素禀赋视角[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):313-321.
- [58]陈玲玲,玉柱,毛培胜,等. 中国饲草产业发展概况及饲草料质量安全现状[J]. 饲料工业,2015,36(5):56-60.