

DOI: 10.11686/cyxb2024084

http://cyxb.magtech.com.cn

王新友, 王小兰, 张万昌, 等. 陇东南部林缘山区青贮玉米品种筛选及其高效栽培研究. 草业学报, 2025, 34(1): 191-202.

WANG Xin-you, WANG Xiao-lan, ZHANG Wan-chang, *et al.* Selection of optimal varieties of silage maize and methods for cultivation in mountainous forest-margin areas of southeast Gansu Province. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(1): 191-202.

陇东南部林缘山区青贮玉米品种筛选及其高效栽培研究

王新友, 王小兰, 张万昌, 李颖, 马永玲, 王晓寅, 王建刚, 王海青, 岳贝凡, 刘永福, 王永宏, 刘珊, 白美婷*

(甘肃开放大学, 甘肃 兰州 730030)

摘要:为筛选出适宜陇东南部林缘山区栽培的青贮玉米品种,并确定其合理的栽培方式,本试验先以5份青贮玉米品种为研究对象,通过田间试验比较了不同品种在该地区的生产性能和营养成分含量,并采用灰色关联度分析法进行综合评价发现:铁研53表现最好,可作为主推品种。再以优势品种铁研53为材料,分别探究了不同施氮量(0、70、140、210和280 kg N·hm⁻²)和不同种植密度(60000、67500、75000、82500和90000株·hm⁻²)对铁研53产量和品质的影响。结果表明:铁研53产量在施氮210 kg N·hm⁻²时达到最大,为38.80 t·hm⁻²,施氮280 kg N·hm⁻²时产量并未随施氮量的增加而显著增加,但其营养品质在施氮280 kg N·hm⁻²时最好。铁研53随密度的增加产量增加,在密度为90000株·hm⁻²时产量最高;虽然种植密度为75000株·hm⁻²时粗蛋白含量达到最高,但粗蛋白产量在种植密度为90000株·hm⁻²时达到最高。为兼顾产量和利润,本研究通过拟合施氮量与产量和经济效益的关系,初步推荐该地区铁研53的适宜施氮量为280.74 kg N·hm⁻²。另外,综合考虑产量和品质,推荐铁研53种植密度为90000株·hm⁻²。

关键词:青贮玉米;产量;品质;灰色关联度分析法;种植密度;施氮量

Selection of optimal varieties of silage maize and methods for cultivation in mountainous forest-margin areas of southeast Gansu Province

WANG Xin-you, WANG Xiao-lan, ZHANG Wan-chang, LI Ying, MA Yong-ling, WANG Xiao-yin, WANG Jian-gang, WANG Hai-qing, YUE Bei-fan, LIU Yong-fu, WANG Yong-hong, LIU Shan, BAI Mei-ting*
Gansu Open University, Lanzhou 730030, China

Abstract: The aims of this study were to screen cultivars of silage maize (*Zea mays*) to identify those suitable for cultivation in forest-margin mountainous areas of southeast Gansu, and to determine the most appropriate cultivation methods. A field experiment was conducted with five varieties of silage maize, and their yields and nutrient contents were determined. A grey correlation analysis was conducted to rank the five varieties from most to least suitable on the basis of their attributes. Overall, the variety Tie Yan 53 performed the best, and could serve as the main variety for cultivation in southeast Gansu. The impact of different nitrogen application rates (0, 70, 140, 210, and 280 kg

收稿日期:2024-03-17;改回日期:2024-05-16

基金项目:2022年度陇原青年创新创业人才(团队)项目“生态草牧业助推林缘山区高质量发展技术研究团队(2022LQTD21)”,2022年度甘肃省高等学校创新基金项目“适宜天水林缘山区的青贮玉米品种筛选试验研究(2022A-299)”和“不同施肥处理对陇东南部林缘区青贮玉米产量和品质的影响研究(2022B-390)”资助。

作者简介:王新友(1981-),男,甘肃静宁人,教授,博士。E-mail: 254950602@qq.com

*通信作者 Corresponding author. E-mail: 675132057@qq.com

$\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$) and different planting densities (60000, 67500, 75000, 82500 and 90000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$) on the yields and quality of Tie Yan 53 was determined. The results showed that the maximum yield of Tie Yan 53 (38.80 t $\cdot\text{ha}^{-1}$) was obtained with 210 kg N $\cdot\text{ha}^{-1}$. Increasing the N application rate to 280 kg N $\cdot\text{ha}^{-1}$ did not increase the yield, but resulted in the best nutrient status. The yield of Tie Yan 53 increased with increasing planting density, with the maximum yield achieved at 90000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$. The crude protein content was highest at a planting density of 75000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$, and the crude protein yield was highest at a planting density of 90000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$. Considering the balance between N application, yield, and economic benefits, 280.74 kg N $\cdot\text{ha}^{-1}$ is recommended as the appropriate N application rate for Tie Yan 53 in this area. To achieve the best yield and quality, the recommended planting density is 90000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$.

Key words: silage maize; yield; quality; grey correlation analysis; planting density; nitrogen application rate

青贮玉米(*Zea mays*)因能量和蛋白质含量高且具有良好的青贮特性而成为世界范围内广泛使用的动物饲料^[1]。自2015年我国实施“粮改饲”政策以来^[2],青贮玉米在全国范围内获得大力发展和种植。饲用玉米的播种面积在2020年已占全国农作物总播种面积的16.7%^[3],其生产区域重心呈现“先东北后西北、西南”的演变趋势^[4]。但是,当前我国青贮玉米发展仍然存在种植面积有限、良种化程度低且品种推广不足、科技支撑不足等问题^[5],严重威胁着国家饲料粮供给安全^[3]。为此,在畜牧业集中地区增加全株青贮玉米种植面积,加快青贮玉米新品种产业化,优化栽培模式,增加科技投入以提升青贮玉米产量和品质,是保障国家饲料供给安全的基本对策^[3]。

青贮玉米的产量和品质受诸多因素的影响^[6-7],但取决于优良的品种和适宜的栽培模式^[8],其中最重要的两个影响因素是施氮量和种植密度^[8]。近年来,我国青贮玉米研究的热点是品种选育、营养价值、用途、经济效益及如何提高产量和品质,以及栽培方式等对青贮玉米产量的影响机制^[9]。基于对青贮玉米生产性能和营养价值的比较研究,学者们开展了大量旨在提高青贮玉米产量和品质的研究,首先是青贮玉米品种的筛选和评价,其次是探索不同青贮玉米品种适宜的栽培模式。在青贮玉米品种的筛选和评价方面,已有学者在我国青贮玉米主要种植区东北^[10]、华北^[11]、西北^[12]、西南^[13]等地开展了相关研究,采用主成分分析^[13-14]、灰色关联度综合分析^[12,15-16]、模糊隶属函数分析^[10]等方法,筛选出了一批适合当地气候与生态条件的优质新品种^[5]。在探索不同青贮玉米品种适宜的栽培模式方面,已有学者从施氮量^[17]、种植密度^[18]、水氮互作^[19]、种植模式^[20]、生长期/播期^[21]、灌溉模式^[22]、绿肥替代^[23-26]、间作^[27]、套种^[28]等不同的方向开展了较为丰富的研究,促进了我国青贮玉米产量和品质的提升^[29]。

陇东南部林缘山区属于典型的农林牧结合地带,是甘肃重要的草食畜牧业发展区。鼓励发展青贮玉米等优质饲草饲料,大力发展现代农牧业是该地区精准扶贫和实施乡村振兴的主要抓手。但是,该地区耕地资源紧缺、生态环境保护压力大^[30]。伴随近年来畜牧业的发展壮大,该区域草畜矛盾突出^[30],建植人工草地是促进当地草地畜牧业可持续发展的必然选择^[31]。当前,已有路婉茹等^[32]在该地区开展了不同青贮玉米品种的筛选,认为适合在清水地区推广种植的青贮玉米品种有铁研53、SN211、丰贮1号等。然而,截至目前,该地区兼顾青贮玉米产量与品质的高效栽培方式和技术研究尚未见报道,迫切需要研究最适宜的种植密度和施氮量。鉴于此,本研究首先筛选出最适合清水地区推广种植的青贮玉米品种,然后研究该品种最适宜的种植密度和氮肥用量,旨在确定最佳种植模式,以期陇东南部林缘山区青贮玉米高效栽培和推广提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

试验于2022—2023年在甘肃开放大学乡村振兴帮扶村开展,位于甘肃省清水县山门镇白杨树村(N:34°36′26.18″,E:106°17′49.27″),地处小陇山林区,属温带半湿润气候。年平均气温10℃,无霜期160 d,年平均生长期258 d,年平均日照时数1985 h,年降水量620 mm,主要集中在7—10月^[30]。土壤为栗钙土,试验区0~60 cm土层土壤基本理化性状如表1所示。

1.2 试验设计

1.2.1 适宜品种筛选 通过前期文献调研,初步确定了5个青贮玉米品种,并于2022年进行田间筛选试验。供试品种为北农青贮208、京科青贮932、豫青贮23、文玉3号、铁研53(表2)。采用随机区组试验设计,每个品种均设3个重复,小区面积为24 m²(4 m×6 m)。种植密度75000株·hm⁻²,行距50 cm,株距26.7 cm。采用穴播种植,每穴2粒种子,播种深度为3~5 cm。参照当地农户习惯施肥方式(撒施有机肥牛粪),约为15000 kg·hm⁻²,以减少因土壤肥力不足引起的试验误差。试验期间不进行灌溉,完全依靠天然降水。病虫害防治等管理措施同当地农民习惯保持一致。

表1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 Physicochemical properties of soil in the experiment field

土层 Soil layer (cm)	含水量 Water content (%)	pH	电导率 Electrical conductivity (ms·cm ⁻¹)	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkalized-nitrogen (mg·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
0~20	26.55	7.67	1812.17	22.76	228.20	1.43	121.57	518.49
20~40	24.79	7.56	1648.17	21.51	189.47	1.23	87.87	435.87
40~60	20.45	7.37	1287.33	14.50	113.87	1.04	40.91	253.26

表2 供试青贮玉米品种

Table 2 Varieties of silage maize

品种 Variety	来源 Sources of varieties
北农青贮208 Beinong silage 208	河南省大京九种业有限公司 Henan Dajingjiu Agricultural Development Co., Ltd.
京科青贮932 Jingke silage 932	北京顺鑫农科种业科技有限公司 Beijing Shunxin Nongke Seed Technology Co., Ltd.
铁研53 Tie Yan 53	北京禾佳源农业科技股份有限公司 Beijing Hejiayuan Agricultural Technology Development Co., Ltd.
文玉3号 Wenyu No. 3	北京佰青源畜牧业科技发展有限公司 Beijing Baiqingyuan Animal Husbandry Technology Development Co., Ltd.
豫青贮23 Yu silage 23	北京大京九农业开发有限公司 Beijing Dajingjiu Agricultural Development Co., Ltd.

1.2.2 施氮量对铁研53产量和品质的影响 试验以筛选出的优势品种铁研53为材料,采用随机区组试验设计,于2023年开展施肥试验。共设置5个施氮水平:0、70、140、210、280 kg N·hm⁻²,分别用N₀、N₇₀、N₁₄₀、N₂₁₀、N₂₈₀表示。每个处理3次重复,小区面积为24 m²(4 m×6 m),播种密度为75000株·hm⁻²。各处理磷肥(P₂O₅)用量为100 kg·hm⁻²,钾肥(K₂O)用量为120 kg·hm⁻²。所用氮、磷和钾肥分别采用尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)和硫酸钾(含K₂O 51%)。田间管理同1.2.1。

1.2.3 种植密度对铁研53产量和品质的影响 于2023年以铁研53为试验材料,采用随机区组试验设计。共设5个密度水平:60000、67500、75000、82500、90000株·hm⁻²,分别用D₆、D_{6.75}、D_{7.5}、D_{8.25}、D₉表示。每个处理3次重复,小区面积为24 m²(4 m×6 m)。各处理磷肥(P₂O₅)用量为100 kg·hm⁻²,钾肥(K₂O)用量为120 kg·hm⁻²,氮肥(N)用量为280 kg·hm⁻²。田间管理同1.2.1。所用肥料同1.2.2。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 干物质积累量 在青贮玉米乳熟后期至蜡熟前期进行收获,每小区随机选取5株,全株刈割后带回实验室立即进行茎、叶和穗的分离。用烘箱在105℃下杀青30 min,然后在75℃下烘干至恒重,分别测定青贮玉米不同部位干物质重量和全株干鲜比。并用全区收获、称重的方式实测小区鲜生物量,测定含水量后用小区面积折算hm²干草产量。

1.3.2 农艺性状测量 每小区挂牌10株,分别用直尺和游标卡尺测量玉米株高和茎粗。在茎、叶和穗分离后立即采用精度为0.1 cm卷尺测量玉米全部展开叶的叶长和最宽处的叶宽,分别取其平均值。

1.3.3 营养品质测定 将烘干至恒重的样品进行粉碎,然后装入自封袋带回实验室待测。粗灰分含量按照 GB/T 6438-2007^[33]进行测定;粗蛋白(crude protein, CP)含量按照 GB/T 6432-2018^[34]进行测定;粗蛋白产量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)=粗蛋白含量 \times 干草产量;中性洗涤纤维含量按照 GB/T 20806-2022^[35]进行测定;酸性洗涤纤维含量按照 NY/T 1459-2007^[36]进行测定;淀粉含量参照 GB/T 20194-2018^[37]进行测定。

1.4 综合评价

采用灰色关联度分析法^[15],选取各参试品种 12 个主要性状指标的最优值构成参考数列,对各项指标进行综合评价,计算方法如下:

$$\epsilon_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}$$

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k)$$

$$\omega(k) = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i}$$

$$\gamma_i' = \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \omega(k)$$

式中: $\epsilon_i(k)$ 为关联系数; $|X_0(k) - X_i(k)|$ 代表 $X_0(k)$ 数列与 $X_i(k)$ 数列在 k 点的绝对值差; $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最小差; $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差; ρ 为分辨系数,取 0.5; γ_i 为等权关联度; γ_i' 为加权关联度; $\omega(k)$ 为权重系数; n 为样本数。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2021 对数据进行标准化处理和灰色关联度分析。用 SPSS 26 软件进行数据统计分析,用单因素方差分析(ANOVA)进行检验,并用 Duncan 法进行多重比较($\alpha=0.05$)。使用 R 4.2.1 制作聚类图,用 Origin 2021 进行拟合分析并作图。

2 结果与分析

2.1 不同青贮玉米品种性状指标比较

试验结果表明:在农艺性状方面,参试品种中株高最高的是北农青贮 208,为 324.04 cm,显著高于京科青贮 932、铁研 53 和文玉 3 号($P<0.05$,表 3)。参试品种中铁研 53 和北农青贮 208 的茎粗显著高于其他品种($P<0.05$),分别为 32.52 和 30.85 mm。铁研 53 叶长最长,为 77.33 cm,显著高于京科青贮 932 和文玉 3 号($P<0.05$)。且铁研 53 叶宽显著宽于其他品种($P<0.05$),为 11.75 cm。在生产性能方面,铁研 53 鲜草产量最高,为 $113.23 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,显著高于京科青贮 932,文玉 3 号和豫青贮 23($P<0.05$)。干草产量最高的是文玉 3 号,为 $29.21 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,显著高于京科青贮 932 和豫青贮 23($P<0.05$)。参试品种中文玉 3 号的干鲜比为 0.35,显著高于其他品种($P<0.05$)。在营养品质方面,粗蛋白、粗蛋白产量、淀粉和中性洗涤纤维在各品种间无显著差异($P>0.05$)。京科青贮 932 的酸性洗涤纤维为 24.49%,显著低于文玉 3 号和豫青贮 23($P<0.05$),但与北农青贮 208 和铁研 53 无显著差异。

利用 R 软件对 5 个青贮玉米品种的株高、茎粗、叶长、叶宽、鲜草产量、干草产量、干鲜比、粗蛋白、粗蛋白产量、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、淀粉和粗灰分共 13 个主要性状进行热图分析,用颜色变化直观地将数据值的大小表示出来,通过颜色的深浅及相似程度来反映数据的相似性和差异性(图 1)。通过欧氏距离法拟合聚类分析,将参试青贮玉米主要分为 4 个类群(图 1),即:第 I 类包括北农青贮 208 和豫青贮 23,表现为株高和叶长生长指标好,粗灰分含量高,但干鲜比低。第 II 类品种铁研 53 被单独归为一类,表现为株高、茎粗、叶长、叶宽、干草产量和鲜草产量等生长指标好,淀粉和粗蛋白含量高且纤维含量低。第 III 类为文玉 3 号,表现为淀粉、粗灰分和中、酸性洗涤纤维含量高。第 IV 类为京科青贮 932,表现为淀粉含量和粗灰分含量高,中、酸性洗涤纤维含量低。

2.2 不同青贮玉米品种主要性状灰色关联度分析

本研究采用灰色关联度分析法对 5 个青贮玉米品种 12 个指标进行综合评价(粗蛋白产量是由粗蛋白含量和

表 3 不同青贮玉米品种生产性能

Table 3 Production performance of different silage maize varieties

指标 Indexes	北农青贮 208 Beinong silage 208	京科青贮 932 Jingke silage 932	铁研 53 Tie Yan 53	文玉 3 号 Wenyu No. 3	豫青贮 23 Yu silage 23
株高 Plant height (cm)	324.04±14.35a	242.48±12.29d	299.04±10.98bc	290.29±14.73c	316.90±5.69ab
茎粗 Stem diameter (mm)	30.85±1.85a	23.88±0.73c	32.52±1.98a	26.03±0.69bc	27.75±0.49b
叶长 Leaf length (cm)	72.86±1.96ab	59.94±4.33c	77.33±2.79a	68.10±3.89b	72.72±2.03ab
叶宽 Leaf width (cm)	10.38±0.47b	10.03±0.47b	11.75±0.38a	10.21±0.35b	9.01±0.34c
鲜草产量 Fresh yield ($t \cdot hm^{-2}$)	96.92±9.07ab	70.20±5.83c	113.23±3.65a	90.99±6.32bc	87.65±5.91bc
干草产量 Dry yield ($t \cdot hm^{-2}$)	22.47±1.96abc	18.46±1.85c	26.59±0.81ab	29.21±3.42a	20.06±1.47bc
干鲜比 Dry to fresh ratio	0.23±0.00b	0.26±0.01b	0.24±0.01b	0.35±0.12a	0.23±0.00b
粗蛋白 Crude protein (%)	5.07±0.38a	4.19±0.27a	4.88±0.33a	4.46±0.18a	4.50±0.21a
粗蛋白产量 Crude protein yield ($t \cdot hm^{-2}$)	1.14±0.12a	0.77±0.09a	1.30±0.08a	1.30±0.17a	0.90±0.07a
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	61.06±2.36a	58.82±9.00a	60.53±4.54a	62.85±1.43a	60.25±1.93a
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	28.84±2.35ab	24.49±1.49b	28.34±1.29ab	32.72±0.84a	30.04±1.15a
淀粉 Starch (%)	11.55±3.30a	16.50±2.80a	17.12±4.63a	16.01±2.04a	15.58±2.81a
粗灰分 Crude ash (%)	5.20±0.16a	4.44±0.55a	4.59±0.31a	5.51±0.34a	5.19±0.33a

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。Different lowercase letters mean significant differences ($P < 0.05$), the same below.

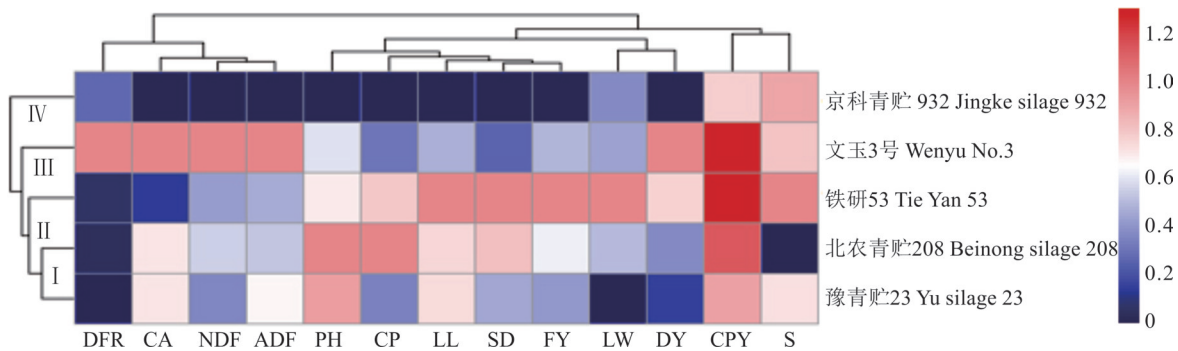


图 1 不同青贮玉米品种性状指标比较

Fig. 1 Comparison of features indexes of different silage maize varieties

DFR: 干鲜比 Dry to fresh ratio; CA: 粗灰分 Crude ash; NDF: 中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber; ADF: 酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber; PH: 株高 Plant height; CP: 粗蛋白 Crude protein; LL: 叶长 Leaf length; SD: 茎粗 Stem diameter; FY: 鲜草产量 Fresh yield; LW: 叶宽 Leaf width; DY: 干草产量 Dry yield; CPY: 粗蛋白产量 Crude protein yield; S: 淀粉 Starch.

产量计算得出的结果,不再作为综合评价的参数)。根据表 3 的数据和 1.4 中的计算公式得出各指标的权重系数如下: $\omega_{株高} = 0.0907$, $\omega_{茎粗} = 0.0802$, $\omega_{叶长} = 0.0886$, $\omega_{叶宽} = 0.0794$, $\omega_{鲜草产量} = 0.0702$, $\omega_{干草产量} = 0.0701$, $\omega_{干鲜比} = 0.0779$, $\omega_{粗蛋白} = 0.0885$, $\omega_{中性洗涤纤维} = 0.1063$, $\omega_{酸性洗涤纤维} = 0.0709$, $\omega_{淀粉} = 0.0894$, $\omega_{粗灰分} = 0.0879$ 。以等权关联度和加权关联度对 5 个不同青贮玉米品种进行灰色关联度分析发现(图 2),铁研 53 在陇东南部林缘山区的生产性能及综合表现最好,京科青贮 932 表现最差。

2.3 不同施氮处理对优势品种铁研 53 产量和品质的影响

从表 4 可看出,在干物质产量方面,随着施氮量的增加,铁研 53 的总干重呈先增加后降低的规律。其中 N_{210} 处理的总干重为 $38.80 t \cdot hm^{-2}$,比 N_0 和 N_{70} 处理分别显著高了 57.2% 和 29.6% ($P < 0.05$)。铁研 53 的茎干重也随施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势,且在 N_{210} 处理下最高,达到 $16.20 t \cdot hm^{-2}$,显著高于 N_0 和 N_{70} 处理 ($P < 0.05$)。不同施氮量对铁研 53 叶干重无显著影响。 N_{210} 和 N_{280} 处理的穗干重显著高于 N_0 处理 ($P < 0.05$)。在

营养品质方面,施氮对铁研53的粗灰分和淀粉含量无显著影响。施氮显著提高了铁研53的粗脂肪和粗蛋白含量。其中 N_{140} 、 N_{210} 和 N_{280} 处理的粗脂肪含量达到1.58%、1.66%和1.70%,显著高于 N_0 处理(1.23%); N_{280} 处理下粗蛋白含量达到最高,为7.15%,显著高于 N_0 、 N_{70} 和 N_{140} 处理($P<0.05$)。 N_{210} 和 N_{280} 处理下粗蛋白产量显著高于其他处理($P<0.05$)。施氮降低了铁研53的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,且 N_{210} 和 N_{280} 处理的中性洗涤纤维含量显著低于 N_0 处理, N_{280} 处理的酸性洗涤纤维含量显著低于 N_0 和 N_{70} 处理($P<0.05$)。

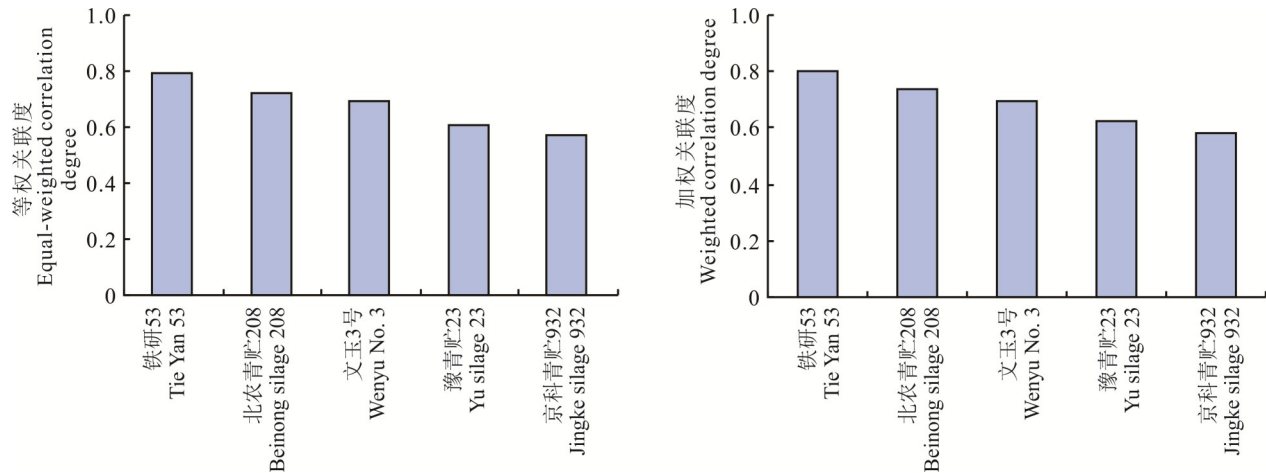


图2 供试青贮玉米品种的关联度及排序

Fig. 2 Correlation degree and ranking of the 5 silage maize varieties

表4 不同施氮处理对铁研53产量和品质的影响

Table 4 Effects of different nitrogen application treatments on yield and quality of Tie Yan 53

指标 Indexes	N_0	N_{70}	N_{140}	N_{210}	N_{280}
茎干重 Dry weight of the stem ($t \cdot hm^{-2}$)	7.56±0.76c	9.60±0.97bc	12.60±0.18ab	16.20±2.35a	13.90±1.56ab
叶干重 Dry weight of leaves ($t \cdot hm^{-2}$)	7.89±0.67a	7.74±0.58a	8.37±0.17a	9.00±0.80a	9.36±0.52a
穗干重 Dry weight of ear ($t \cdot hm^{-2}$)	9.23±1.26b	12.59±0.99ab	11.16±1.60ab	13.61±0.42a	13.29±0.41a
总干重 Total dry weight ($t \cdot hm^{-2}$)	24.68±2.10c	29.93±2.02bc	32.09±1.74ab	38.80±2.53a	36.55±2.32ab
粗灰分 Crude ash (%)	4.75±0.33a	5.08±0.06a	5.28±0.29a	4.54±0.30a	5.04±0.50a
粗脂肪 Ether extract (%)	1.23±0.13b	1.39±0.11ab	1.58±0.11a	1.66±0.14a	1.70±0.11a
粗蛋白 Crude protein (%)	4.74±0.59c	5.43±0.31bc	5.64±0.45bc	6.38±0.27ab	7.15±0.58a
粗蛋白产量 Crude protein yield ($t \cdot hm^{-2}$)	1.17±0.07c	1.63±0.01b	1.81±0.02b	2.48±0.06a	2.61±0.09a
淀粉 Starch (%)	17.27±2.44a	17.02±2.34a	17.28±2.46a	18.97±2.40a	19.50±3.81a
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	61.55±5.89a	57.95±2.70ab	51.34±2.73ab	45.84±7.82b	45.20±6.39b
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	31.88±1.90a	29.72±1.83a	28.96±2.00ab	28.39±1.44ab	24.79±2.27b

2.4 优势品种铁研53最佳施氮量确定

为进一步确定铁研53的最佳施氮量,本研究对其干物质产量与施氮量进行了回归拟合,拟合方程为: $y = -0.153x^2 + 89.287x + 24392.089$,由此可以看出(图3),以产量最大化为生产目标时,最佳施氮量为291.73 $kg N \cdot hm^{-2}$,该施氮量下最大产量为37.42 $t \cdot hm^{-2}$ 。当然,在确定最佳施氮量时,还应考虑生产中的投入成本以实现经济效益最大化。因此,在仅考虑氮肥购买支出的情况下,可以通过以下公式计算青贮玉米的经济效益:

$$\text{经济效益}(CNY \cdot hm^{-2}) = a \times Y \times 3.96 - b \times N_{\text{rates}}$$

式中: a 为全株青贮玉米价格($元 \cdot t^{-1}$); Y 为干物质产量($t \cdot hm^{-2}$);3.96为鲜干比; b 为氮肥价格($元 \cdot kg^{-1}$); N_{rates} 为

氮肥施用量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。全株青贮玉米价格参照清水县 2023 年收购均价 $380\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$ (数据来源:https://mp.weixin.qq.com/s/IWm_o8hE7LLw4p9y_4MEEw)。纯氮肥价格参照甘肃省 2023 年 12 月均价 $5.78\text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$ (即尿素 $2.66\text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,数据来源:<https://zgg.gansu.gov.cn/fzgg/c106231/202401/173834323.shtml>)。

由经济效益与施氮量之间的回归方程可知,实现最大经济效益时的施氮量为 $280.74\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$,在该施氮量下,当地农民可以获得的最大经济收益为 $54753.86\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.5 不同种植密度对优势品种铁研 53 产量和品质的影响

在 D_9 处理下铁研 53 的茎干重最高,达 $14.00\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,且显著高于 D_6 和 $D_{7.5}$ 处理($P<0.05$,表 5)。叶干重在 D_9 处理下达到最高,显著高于 $D_{7.5}$ 处理($P<0.05$)。 D_9 处理的穗干重显著高于 $D_{6.75}$ 处理($P<0.05$)。总干重随种植密度的增加呈增加趋势, D_9 处理的总干重为 $40.80\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,比 D_6 和 $D_{6.75}$ 处理分别显著高了 38% 和 37%。不同种植密度对铁研 53 粗灰分、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均无显著影响。随着种植密度的增加,铁研 53 粗脂肪和粗蛋白含量表现为先增加后降低。其粗脂肪含量在 $D_{8.25}$ 处理下达到最高,为 2.08%,显著高于 D_6 处理($P<0.05$)。粗蛋白含量在 $D_{7.5}$ 处理下达到最高(5.73%),显著高于 D_6 、 $D_{6.75}$ 和 D_9 处理($P<0.05$)。粗蛋白产量在 D_9 处理下达到最高,显著高于 D_6 、 $D_{6.75}$ 和 $D_{8.25}$ 处理($P<0.05$)。在 $D_{8.25}$ 处理下铁研 53 淀粉含量最高,达到 17.13%,显著高于 D_6 和 $D_{7.5}$ 处理($P<0.05$)。

表 5 不同种植密度对铁研 53 产量和品质的影响

Table 5 Effect of different planting densities on yield and quality of Tie Yan 53

指标 Indexes	D_6	$D_{6.75}$	$D_{7.5}$	$D_{8.25}$	D_9
茎干重 Dry weight of the stem ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	$9.30\pm 1.53\text{b}$	$10.42\pm 1.82\text{ab}$	$9.31\pm 1.34\text{b}$	$10.68\pm 1.17\text{ab}$	$14.00\pm 0.38\text{a}$
叶干重 Dry weight of leaves ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	$8.44\pm 1.04\text{ab}$	$8.27\pm 0.61\text{ab}$	$8.04\pm 0.99\text{b}$	$8.26\pm 1.21\text{ab}$	$11.51\pm 1.06\text{a}$
穗干重 Dry weight of ear ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	$11.73\pm 0.52\text{ab}$	$11.06\pm 1.00\text{b}$	$12.44\pm 1.86\text{ab}$	$12.43\pm 1.38\text{ab}$	$15.29\pm 1.20\text{a}$
总干重 Total dry weight ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	$29.47\pm 2.95\text{b}$	$29.75\pm 3.25\text{b}$	$29.79\pm 4.16\text{ab}$	$31.37\pm 2.62\text{ab}$	$40.80\pm 1.79\text{a}$
粗灰分 Crude ash (%)	$4.00\pm 0.02\text{a}$	$4.22\pm 0.26\text{a}$	$4.29\pm 0.18\text{a}$	$4.28\pm 0.32\text{a}$	$4.48\pm 0.52\text{a}$
粗脂肪 Ether extract (%)	$1.55\pm 0.15\text{b}$	$1.75\pm 0.10\text{ab}$	$1.78\pm 0.15\text{ab}$	$2.08\pm 0.08\text{a}$	$1.78\pm 0.14\text{ab}$
粗蛋白 Crude protein (%)	$4.94\pm 0.05\text{b}$	$4.95\pm 0.25\text{b}$	$5.73\pm 0.22\text{a}$	$5.28\pm 0.28\text{ab}$	$5.06\pm 0.24\text{b}$
粗蛋白产量 Crude protein yield ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	$1.46\pm 0.14\text{b}$	$1.47\pm 0.08\text{b}$	$1.71\pm 0.13\text{ab}$	$1.66\pm 0.10\text{b}$	$2.06\pm 0.04\text{a}$
淀粉 Starch (%)	$13.44\pm 0.69\text{b}$	$14.01\pm 0.96\text{ab}$	$13.89\pm 0.65\text{b}$	$17.13\pm 1.32\text{a}$	$14.38\pm 0.87\text{ab}$
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	$51.94\pm 5.35\text{a}$	$54.58\pm 4.05\text{a}$	$55.74\pm 5.08\text{a}$	$64.10\pm 1.76\text{a}$	$62.72\pm 3.50\text{a}$
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	$24.67\pm 1.59\text{a}$	$26.22\pm 2.42\text{a}$	$25.37\pm 1.12\text{a}$	$29.25\pm 1.73\text{a}$	$27.62\pm 0.72\text{a}$

D_6 、 $D_{6.75}$ 、 $D_{7.5}$ 、 $D_{8.25}$ 、 D_9 为 5 个密度水平 D_6 、 $D_{6.75}$ 、 $D_{7.5}$ 、 $D_{8.25}$ 和 D_9 are five density levels: 60000, 67500, 75000, 82500, 90000 plant $\cdot\text{ha}^{-1}$ 。

3 讨论

青贮玉米是目前畜牧业中最为重要的饲料之一,不同品种之间的生长特性、产量和营养品质差异较大^[38]。另外,青贮玉米的生长特性受环境因素的影响较大,相同品种在不同地区的生长表现也不同。青贮玉米产量往往是

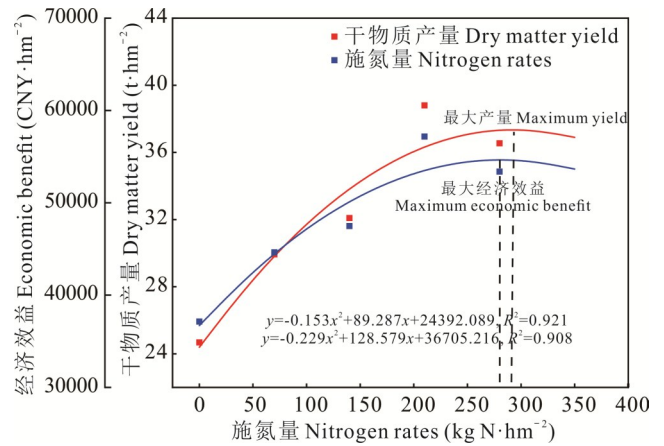


图 3 施氮量与干物质产量和经济效益的关系

Fig. 3 Relationship between dry matter yield, economic benefit and nitrogen application

评价其生产性能的重要指标,而株高、茎粗、叶长、叶宽和干鲜比等是影响青贮玉米产量的主要因素。本研究中,铁研53鲜草产量最高,为 $113.23\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,但其干草产量为 $26.59\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,仅次于文玉3号($29.21\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),这与收获时期铁研53较高的干鲜比和含水量有关^[15]。另外,铁研53的叶长、叶宽表现好于其他品种,这表明铁研53有更高的叶干重。一般来说,叶干重越高,适口性越好。营养品质也是筛选优质品种的关键因素。好的品种应该具有高的粗蛋白含量和较低的纤维含量。在本研究中,粗蛋白和中性洗涤纤维含量在各品种间无显著差异,但京科青贮932的酸性洗涤纤维含量显著低于文玉3号和豫青贮23。优质的青贮玉米也具有高的淀粉含量,虽然各品种间淀粉含量无显著差异,但铁研53淀粉含量高于其他品种。整体来说,该试验的5个供试品种在其生长特性、产量和营养品质方面表现的优劣性并不一致。因此,本研究采用灰色关联度分析法对不同品种的多个因素进行综合评价。目前,该方法广泛应用于多种品种的引进和筛选^[39]。本研究以等权关联度和加权关联度对5个青贮玉米品种排序发现,铁研53排名第一,可作为陇东南部林缘山区优质品种推广种植。该结果与同期在清水县进行的其他青贮玉米品种筛选试验结果相吻合^[32]。

在农业生产中,施肥和种植密度是提高作物产量和品质的关键因素。因此,本研究以筛选出的优势品种铁研53为材料,分别探究了不同施氮量和种植密度对铁研53产量和品质的影响。近年来,大量研究探讨了施氮量对青贮玉米产量和品质的影响,旨在寻找最佳的施肥策略以优化生产^[7-8,17,20,40-41]。许多研究表明,施氮可以显著提高青贮玉米的干物质^[40]。也有研究发现,青贮玉米生物量随施氮量的增加而增加,但当施氮量超过一定水平时,其产量并无显著提高^[41]。本研究也得出相似结论,施氮 $210\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产量为 $38.80\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,施氮 $280\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产量并未随施氮量的增加而显著增加。但有研究在青海同样对铁研53进行施氮试验发现^[42],各试验点的产量均随氮肥的增加而增加,整体呈正相关关系,本研究结果与其不一致。这可能是由于以上研究的试验地区较本研究的试验地区干旱,土壤肥力较低,其试验设置的最大施氮量未达到产量阈值。适宜的氮肥使用量不仅可以增加产量,还可以通过提高粗蛋白含量和降低粗纤维含量改善青贮玉米的营养品质^[43]。本研究发现,施氮 $280\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时显著提高了粗蛋白和粗脂肪含量,降低了中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,这与前人的研究结论一致。

然而,在生产实践中,除了兼顾青贮玉米的高产与优质表现,还需要考虑生产投入以确定最佳施氮量。目前,有研究指出,可以用农艺最佳施氮量和经济效益最佳施氮量来预测作物生产的最佳施氮量^[44]。农艺最佳施氮量是指即使提高施氮量也不会增加产量的最低施氮量。因此,本研究对施氮量与铁研53的干物质产量进行曲线拟合发现,理论上农业最佳施氮量为 $291.73\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。而经济效益最佳施氮量是指超过该施氮量,作物增产带来的经济收益无法覆盖肥料投入的成本^[45]。本研究对施氮量和经济效益拟合计算后的理论经济效益最佳施氮量为 $280.74\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。因此,为兼顾青贮玉米产量和利润,初步推荐陇东南部林缘山区铁研53的适宜施氮量为 $280.74\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$,农民可以获得的最大经济收益为 $54753.86\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

选择合理的种植密度是青贮玉米高产和优质栽培的重要方式。研究发现,适当的密植可以增产^[46]。当播种密度增加时,单位面积的植株数量增加,产量也相应增加。也有研究表明,青贮玉米的产量随种植密度的增加先增加后减少^[47]。种植密度过大会导致单株玉米水肥条件供应不足,从而减产。本研究发现,铁研53随密度的增加产量增加,且在种植密度为 $90000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产量最高,试验过程中未发现倒伏现象。其他研究发现,铁研53在种植密度为 $97500\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时株高和产量最高,超过该密度其株高和产量均随密度增加而降低^[8]。由此可见,铁研53耐密植,其设置的最大种植密度未达到最高产量阈值。另外,本研究品比试验中,5个品种所有密度设定为 $75000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,其下铁研53的干草产量为 $26.59\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,而在密度比较试验中,同样密度下铁研53的干草产量为 $29.79\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,这可能是受不同年限降水等气候因素影响,更重要的是因为品比试验施用了有机肥牛粪,而密度试验中施用了无机肥料氮肥,这是对施无机肥重要性的有力证明,同时说明该区域农牧民应该在青贮玉米种植中施用一定量的无机化肥以增加产量,而不仅仅是依赖于丰富的牛粪。这也为未来进一步开展青贮玉米有机肥与无机肥施用方式的研究提供了新的思路。青贮玉米的品质也会受种植密度的影响。有研究发现,种植密度对青贮玉米的粗蛋白和酸性洗涤纤维含量影响不显著^[48]。也有研究发现,随种植密度的增加,青贮玉米粗蛋白含量

增加,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量降低;当种植密度达到阈值后,致使青贮玉米饲用品质降低^[49]。本研究中,种植密度对粗灰分、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量无显著影响。而粗脂肪和粗蛋白含量均随种植密度的增加先增加后降低。其中粗脂肪含量在种植密度为82500株·hm⁻²时达到最高,粗蛋白含量在种植密度为75000株·hm⁻²时达到最高,粗蛋白产量在种植密度为90000株·hm⁻²时达到最高。综合来看,建议陇东南部林缘山区铁研53的种植密度为90000株·hm⁻²。

4 结论

本试验通过5个青贮玉米品种在陇东南部林缘山区的种植表现,结合灰色关联度分析进行综合评价,结果表明:铁研53综合表现最好,适宜在陇东南部林缘山区种植。后续对铁研53分别进行不同施氮量和种植密度研究发现,铁研53的适宜施氮量为280.74 kg N·hm⁻²,适宜种植密度为90000株·hm⁻²。

参考文献 References:

- [1] Khan N A, Yu P Q, Ali M, *et al.* Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(2): 238—252.
- [2] Fang Y J, Zhang X C, Yu X F, *et al.* Effects of vertical rotary subsoiling with combined organic and inorganic fertilization on water use efficiency and yield of forage maize in a semi-arid area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(4): 1327—1336.
方彦杰,张绪成,于显枫,等.半干旱区立式深旋耕和有机无机肥配施对饲用玉米水分利用效率和产量的影响. *应用生态学报*, 2021, 32(4): 1327—1336.
- [3] Liu C Q, Han L, Li T T, *et al.* The security of feed grains supply in China from the perspective of a big food concept. *Chinese Rural Economy*, 2023(1): 33—57.
刘长全,韩磊,李婷婷,等.大食物观下中国饲料粮供给安全问题研究. *中国农村经济*, 2023(1): 33—57.
- [4] Yan J J, Luo G Q, Zhang Y. Agglomeration evolution and mechanism of feed grain production in China: Based on dynamic spatial Durbin model. *Feed Research*, 2024(1): 175—180.
颜姣姣,罗国庆,张翼.我国青贮玉米生产的集聚演变及其作用机制——基于动态空间杜宾模型. *饲料研究*, 2024(1): 175—180.
- [5] Wang X Y. Research on the application of forage maize and the progress in its cultivation measures. *Feed Industry*. (2024-01-04) [2024-03-16]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1169.S.20240104.1302.005>.
王新友.青贮玉米应用现状以及其栽培措施研究进展. *饲料工业*. (2024-01-04)[2024-03-16]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1169.S.20240104.1302.005>.
- [6] Liu Y H, Guo M, Jia S L, *et al.* Advance on the factors effecting on maize forage nutritive value. *Crops*, 2018(2): 6—10.
刘颖慧,郭明,贾树利,等.影响青贮玉米品质因素研究进展. *作物杂志*, 2018(2): 6—10.
- [7] Wu Y Q, Wang W, Zhao L, *et al.* Effect of nitrogen application and density on yield and quality of mainly planted maize varieties in southwest China. *Journal of Maize Sciences*, 2022, 30(5): 99—107, 115.
吴元奇,王伟,赵丽,等.施氮量与密度对西南地区主栽青贮玉米品种产量和品质的影响. *玉米科学*, 2022, 30(5): 99—107, 115.
- [8] 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. *China Feed*, 2024(1): 141—148.
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. *中国饲料*, 2024(1): 141—148.
- [9] Wu Y, Yi J. Visualization analysis of silage maize research field in China based on knowledge map. *Journal of Maize Sciences*, 2021, 29(1): 184—190.
吴园,易婧.基于知识图谱的我国青贮玉米研究领域可视化分析. *玉米科学*, 2021, 29(1): 184—190.
- [10] Dong Y, Li X Y, Yan F, *et al.* Comprehensive evaluation of 12 silage maize varieties in Qiqihar area. *Seed*, 2023, 42(9): 68—72.
董扬,李旭业,闫锋,等.齐齐哈尔地区12个青贮玉米品种综合评价. *种子*, 2023, 42(9): 68—72.
- [11] Yue H W, Wei J W, Wang G C, *et al.* Comprehensive evaluation of silage maize hybrids in the Huanghuaihai plain based on mega-environments delineated using envirotyping techniques. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 33(3): 120—138.
岳海旺,魏建伟,王广才,等.基于环境型鉴定技术划分生态区综合评价黄淮海青贮玉米品种. *草业学报*, 2024, 33(3):

120—138.

- [12] Liang W W, Zhang H H, Zhang X Z, *et al.* Comprehensive evaluation of 23 silage maize varieties in the Changji, Xinjiang. *Pratacultural Science*, 2022, 39(10): 2180—2190.
梁维维, 张荟荟, 张学洲, 等. 新疆昌吉地区 23 份青贮玉米品种综合评价. *草业科学*, 2022, 39(10): 2180—2190.
- [13] Li S J, Yuan L, Qi Z Y, *et al.* Comprehensive evaluation on yield and silage quality of different silage corn varieties. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54(7): 2092—2100.
李淑君, 袁亮, 祁志云, 等. 不同青贮玉米品种产量和青贮品质的综合评价. *南方农业学报*, 2023, 54(7): 2092—2100.
- [14] Wang Y C, Lu G X, Deng H, *et al.* Evaluation and screening of agricultural characters of silage maize varieties based on principal component analysis. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(6): 1725—1732.
王英成, 芦光新, 邓晖, 等. 基于主成分分析的青贮玉米品种农艺性状评价及筛选研究. *草地学报*, 2019, 27(6): 1725—1732.
- [15] Jiang C Z, Shou N, Gao W, *et al.* A multivariate evaluation of production performance and nutritional quality of different varieties of silage maize in the dry plateau area of Longdong. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(7): 216—228.
蒋丛泽, 受娜, 高玮, 等. 陇东旱塬区不同青贮玉米品种生产性能和营养品质综合评价. *草业学报*, 2023, 32(7): 216—228.
- [16] Wang H N, Qin W N, Jiao T, *et al.* Evaluation of milk yield, agronomic traits, and nutritional quality of different green-feeding maize varieties in Gansu Province. *Pratacultural Science*, 2023, 40(6): 1617—1628.
王虎宁, 秦伟娜, 焦婷, 等. 甘肃不同青饲玉米品种产量、农艺性状及营养品质评定. *草业科学*, 2023, 40(6): 1617—1628.
- [17] Gao W. Study on the regulating effect of nitrogen (N) rate and planting density on production, water and N utilization of forage maize. Lanzhou: Lanzhou University, 2023.
高玮. 施氮量和密度调控青贮玉米生产及水氮利用的研究. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [18] 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. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(1): 60—73.
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. *西北农业学报*, 2021, 30(1): 60—73.
- [19] Wang Y, Shi Y Q, Liu C, *et al.* Combined effect of water and nitrogen application on yield and silage quality of silage maize. *Pratacultural Science*, 2021, 38(11): 2247—2254.
王晔, 石雅琪, 刘呈, 等. 水氮互作对青贮玉米产量和青贮品质的影响. *草业科学*, 2021, 38(11): 2247—2254.
- [20] Wang J. Effects of planting method, density and nitrogen rate on yield, quality and water and nitrogen utilization of forage maize in Hexi region. Lanzhou: Lanzhou University, 2022.
王佳. 种植模式、密度和施氮对河西地区饲用玉米产量、品质及水氮利用的影响. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [21] You Y L, Li Y, Zhao H M, *et al.* Effects of sowing date and planting density on production performance and forage quality of silage corn. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(11): 2615—2624.
游永亮, 李源, 赵海明, 等. 播期和种植密度对青贮玉米生产性能和饲用品质的影响. *草地学报*, 2021, 29(11): 2615—2624.
- [22] Dong S, Wang H, Jia Q M, *et al.* Effects of irrigation modes and planting patterns on the growth, yield and economic benefits of silage maize in Hexi region. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(4): 1111—1120.
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. *草地学报*, 2020, 28(4): 1111—1120.
- [23] Bai X C, Zhang J H, Feng K L, *et al.* Effects of chemical fertilizer reduction and application of organic manure on the yield and nutritive value of *Zea mays* and soil microbial activity. *Pratacultural Science*, 2020, 37(2): 348—354.
白雪纯, 张君红, 冯魁亮, 等. 化肥减量配施有机肥对青贮玉米产量、营养价值及土壤微生物活性的影响. *草业科学*, 2020, 37(2): 348—354.
- [24] Xu J, Yu D B, Feng B B, *et al.* Effects of different organic chicken manure fertilizers on the yield and quality of watermelon-silage maize and benefit analysis. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(10): 89—97.
徐军, 虞德兵, 冯彬彬, 等. 不同来源鸡粪有机肥对西瓜—青贮玉米产量、品质的影响及效益分析. *中国农业大学学报*, 2020, 25(10): 89—97.
- [25] Xiong B, Wang C, Zhang L, *et al.* Effects of organic fertilizer substituting chemical fertilizer on the growth and quality of summer silage maize in Beijing suburbs. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(3): 141—147.

- 熊波, 王琛, 张莉, 等. 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. 中国土壤与肥料, 2021(3): 141-147.
- [26] Yang Y, Gong S S, Jin H M, *et al.* Effects of biogas slurry derived from cow dung on the yield and quality of wheat and silage maize. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(2): 264-272.
杨月, 宫少硕, 靳红梅, 等. 奶牛场沼液施用对小麦及青贮玉米植株产量和品质的影响. 生态与农村环境学报, 2023, 39(2): 264-272.
- [27] Dong Z X, He R H, Kuang J Y, *et al.* Effects of intercropping *Dolichos lablab* with silage maize on the yield and quality of mixed forage in the Chengdu Plain, China. *Pratacultural Science*, 2021, 38(8): 1587-1595.
董志晓, 何润濠, 况鉴洋, 等. 成都平原青贮玉米间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响. 草业科学, 2021, 38(8): 1587-1595.
- [28] Li Y J, Ma P J, Wu J H, *et al.* Effects of interplanting with *Dolichos lablab* on agronomic traits and yield of two varieties of silage maize. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(9): 209-216.
李亚娇, 马培杰, 吴佳海, 等. 不同品种青贮玉米与拉巴豆套种对青贮玉米农艺性状及产量的影响. 草业学报, 2019, 28(9): 209-216.
- [29] Cheng G L, Qiu J, Wang X G, *et al.* Changes of agronomic traits, biomass yield and quality of national silage maize combinations (varieties). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(4): 30-37.
成广雷, 邱军, 王晓光, 等. 我国青贮玉米组合(品种)的农艺性状、生物产量和品质变化. 中国农业科技导报, 2022, 24(4): 30-37.
- [30] Wang X Y, Wang D B, Qu Z. Study on the sustainable development of grassland animal husbandry in the combination zone of agriculture, forestry and animal husbandry—A case study of S village in Qingshui county, Gansu province. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(16): 210-213.
王新友, 王多斌, 屈展. 农林牧结合地带草地畜牧业可持续发展探讨——以甘肃省清水县S村为例. 安徽农业科学, 2021, 49(16): 210-213.
- [31] Wang X Y, Qu Z. Investigation and development prospect of grass livestock balance in Shanmen forest farm of Xiaolongshan forest area. *China Cattle Science*, 2021, 47(3): 46-49.
王新友, 屈展. 小陇山林区山门林场草畜平衡现状调查及发展展望. 中国牛业科学, 2021, 47(3): 46-49.
- [32] Lu W R, Yuan X H, Liu J Z, *et al.* Screening of different silage maize varieties in the Qingshui area. *Feed Research*. (2023-12-28)[2024-03-16]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2114.S.20231227.1534.002>.
路婉茹, 袁想红, 刘建忠, 等. 清水地区不同青贮玉米品种的筛选. 饲料研究. (2023-12-28)[2024-03-16]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2114.S.20231227.1534.002>.
- [33] Wu R X, Yang L, He Y F, *et al.* Determination of crude ash content in feed: GB/T 6438-2007. Beijing: China Standard Press, 2007.
武润仙, 杨林, 何一帆, 等. 饲料中粗灰分的测定: GB/T 6438-2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [34] Xiao Z M, Fan X, Ma D X, *et al.* Determination of crude protein in feed: GB/T 6432-2018. Beijing: China Standard Press, 2018.
肖志明, 樊霞, 马东霞, 等. 饲料中粗蛋白的测定: GB/T 6432-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [35] Zhang F P, Zhang Y, Zhang R, *et al.* Determination of neutral detergent fiber (NDF) in feeds: GB/T 20806-2022. Beijing: China Standard Press, 2022.
张凤枰, 张芸, 张茹, 等. 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定: GB/T 20806-2022. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [36] Li H L, Zhao C H, Jia Q, *et al.* Determination of acid detergent fiber in feed: NY/T 1459-2007. Beijing: China Standard Press, 2007.
李会玲, 赵彩会, 贾青, 等. 饲料中酸性洗涤纤维的测定: NY/T 1459-2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [37] Huang T, Wang S S, Gao J F, *et al.* Determination of starch in feeds—Polarimetry: GB/T 20194-2018. Beijing: China Standard Press, 2018.
黄婷, 王思思, 高俊峰, 等. 动物饲料中淀粉含量的测定 旋光法: GB/T 20194-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [38] Cao J, Wu Z F, Chen X J, *et al.* Selection and comprehensive evaluation of suitable silage maize varieties in Jiuquan. *Feed Research*, 2023, 46(16): 121-125.
曹健, 武志锋, 陈学俊, 等. 酒泉适宜青贮玉米品种综合评价与筛选. 饲料研究, 2023, 46(16): 121-125.
- [39] Li H F, Zhou B W, Zhang M, *et al.* Adaptability evaluation of different oat varieties introduced in the Hulunbair region. *Acta*

- Prataculturae Sinica, 2024, 33(4): 60–72.
李鸿飞, 周帮伟, 张森, 等. 不同燕麦品种在呼伦贝尔地区的引种适应性评价. 草业学报, 2024, 33(4): 60–72.
- [40] Ochieng' I O, Gitari H I, Mochoge B, *et al.* Optimizing maize yield, nitrogen efficacy and grain protein content under different N forms and rates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2021, 21(3): 1867–1880.
- [41] Shou N, Gao W, Shen Y Y, *et al.* Effects of different nitrogen application rates on yield and water use efficiency of silage maize. *Prataculturae Sinica*, 2021, 38(7): 1351–1361.
受娜, 高玮, 沈禹颖, 等. 不同施氮量对青贮玉米产量及水分利用效率的影响. 草业科学, 2021, 38(7): 1351–1361.
- [42] Gan S P, Yang X G, Ma Y Q, *et al.* Introduction and cultivation of the mid-late silage maize 'Tieyan53' in Qinghai Province. *Prataculturae Sinica*, 2021, 38(5): 927–934.
甘淑萍, 杨学贵, 马玉清, 等. 青海省中晚熟青贮玉米'铁研53'的引种栽培. 草业科学, 2021, 38(5): 927–934.
- [43] Anniina L, Auvo S, Seija J, *et al.* Yield, quality and nitrogen use of forage maize under different nitrogen application rates in two boreal locations. *Agronomy*, 2022, 12(4): 887.
- [44] Morris T F, Murrell T S, Beegle D B, *et al.* Strengths and limitations of nitrogen rate recommendations for corn and opportunities for improvement. *Agronomy Journal*, 2018, 110(1): 1–37.
- [45] Miguez F E, Poffenbarger H. How can we estimate optimum fertilizer rates with accuracy and precision? *Agricultural & Environmental Letters*, 2022, 7(1): e20075.
- [46] Hu Y Q, Xu K W, Long L, *et al.* Effect of high plant density on yield of maize variety 'Zhenghong No. 6'. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(7): 154–162.
胡月秋, 徐开未, 龙玲, 等. 玉米“正红6号”的密植效应. 草业学报, 2020, 29(7): 154–162.
- [47] Zhang X, Su Y J, Wang Y, *et al.* Effect of variety and density on silage maize biomass and agronomic traits. *Feed Research*, 2022, 45(15): 88–93.
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. 饲料研究, 2022, 45(15): 88–93.
- [48] Zhang Q Z, Pan J B, Nan Z J, *et al.* Effect of planting densities on qualities of silage corn. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2007, 22(2): 10–12.
张秋芝, 潘金豹, 南张杰, 等. 不同种植密度对青贮玉米品质的影响. 北京农学院学报, 2007, 22(2): 10–12.
- [49] Sun J Y, Gao J L, Wang Z G, *et al.* Effect of planting density on forage yield and nutritive value of different maize varieties. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(6): 1733–1742.
孙继颖, 高聚林, 王志刚, 等. 不同类型青贮玉米饲用产量及营养价值对密度调控的响应. 草地学报, 2019, 27(6): 1733–1742.