文章编号：1005-0906(2026)01-0083-10 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20260110

播期与施氮水平对青贮玉米产量和饲用价值的影响

赵诗晗[1],严文秀[1],周也富[2],张 萍[1],杨 明[3],
杨施聪[3],常锦峰[1],胡小康[2]

(1.浙江大学环境与资源学院,杭州 310058；2.大理大学农学与生物科学学院/苍山洱海一体化保护与流域绿色发展云南省高校协同创新中心/洱海流域农业生态云南省教育厅重点实验室,云南 大理 671003；
3.云南洱海湖泊生态系统国家野外科学观测研究站,云南 大理 671000)

摘 要：以青贮玉米豫青贮23和曲辰9号为材料,探讨播期和施氮水平对产量和饲用价值的影响。结果表明,6月初播种相较于7月初,产量与粗蛋白含量更高,纤维含量更低,饲用价值更优。施氮水平与产量、粗蛋白含量成正比,对饲用价值有显著影响。两个品种产量差异不显著,豫青贮23的营养指标和饲用价值显著高于曲辰9号。青贮玉米产量和品质存在权衡,产量提高伴随粗蛋白含量下降与纤维含量上升,导致饲用价值降低。

关键词：青贮玉米;播期;施氮水平;干物质产量;饲用价值

中图分类号：S513.062 **文献标识码**：A

Effects of Sowing Date and Nitrogen Application Level on Yield and Feeding Value of Silage Corn

ZHAO Shi-han[1], YAN Wen-xiu[1], ZHOU Ye-fu[2], ZHANG Ping[1], YANG Ming[3], YANG Shi-cong[3], CHANG Jin-feng[1], HU Xiao-kang[2]

(1. *School of Environment and Resources, Zhejiang University, Hangzhou* 310058;
2. *College of Agriculture and Biological Sciences, Dali University / Co-Innovation Center for Cangshan Mountain and Erhai Lake Integrated Protection and Green Development of Yunnan Province/ Key Laboratory for Agroecology in Erhai Lake Watershed of the Department of Education of Yunnan Province, Dali* 671003;
3. *National Observation and Research Station of Erhai Lake Ecosystem in Yunnan, Dali* 671000, China)

Abstract: Taking the silage corn varieties Yuqingzhu 23 and Quchen 9 as experimental materials, the effects of sowing dates and nitrogen application levels on yield and feeding value were explored. The results showed that silage corn sown in early June produced higher yield and crude protein(CP) content than that sown in early July, with lower acid detergent fibre(ADF) and neutral detergent fibre(NDF) content, and higher relative feeding value(RFV) and forage grading index(GI). Nitrogen application level was proportional to yield, CP and NDF contents, and had significant effects on the RFV and GI values. The yield difference between the two varieties was not significant, but the nutritional indices and feeding value of Yuqingzhu 23 were significantly higher than Quchen 9. There was a trade-off relationship between dry matter yield and quality of silage corn, with increased yield accompanied by a decrease in CP content and an increase in ADF content, thereby resulting in a decrease in feeding value.

Key words: Silage corn; Sowing date; Nitrogen application level; Dry matter yield; Feeding value

饲料粮短缺是制约我国畜牧业可持续发展的重要因素,发展高产优质饲料作物已经成为农业结构调整的关键性内容[1-2]。青贮玉米作为一种优质饲料作物,具有生物产量高、适口性好、营养成分丰富、易消化利用等优势[3-4],且本身附着乳酸菌较多而易青贮成功[5],因而成为我国畜牧业重要的饲料资源之一,其产量和质量直接关系畜牧业发展及国民经济效益[6]。迄今,有许多研究探索各栽培因子对青贮玉米产量

录用日期：2024-11-24

项目基金：科技部重点研发计划项目“政府间国际科技创新合作”(2021YFE0114500)、中国科学院A类战略性先导科技专项项目(XDA26010303)

作者简介：赵诗晗(2002-),女,浙江宁波人,本科,专业为农业资源与环境。Tel:13586869731
E-mail:3210104393@zju.edu.cn
胡小康为本文通信作者。Tel:18287266938
E-mail:huxiaokangliu@pku.edu.cn

与饲用价值的影响。播期和施氮水平是两个重要栽培管理因子，播期决定青贮玉米生育期内的有效积温资源特征，进而影响生长状况以及产量和品质[7-8]。研究指出，随着播期的推迟，生长前期日均温逐渐升高，苗期生长阶段缩短，干物质积累减少，导致产量降低[8-9]。有研究表明，晚播导致青贮玉米饲用价值降低，其中粗蛋白含量减少0.18%，酸性洗涤纤维含量增加0.33%，中性洗涤纤维含量增加0.93%[10]。

在肥料管理方面，大量研究探讨了氮肥对青贮玉米产量和饲用价值的影响。研究发现，青贮玉米对氮肥较为敏感[11]，施用氮肥可以促进青贮玉米的生长，鲜干草产量可提高40%～50%[12-13]，还可以提高饲用价值[14]。另有研究表明，随着施氮量从100 kg/hm^{2}增加到200 kg/hm^2，粗蛋白含量提高了24%，粗纤维含量下降了15%[15]。相关研究表明，不同品种青贮玉米的最适播期和最佳施氮量不同[16]。因此，研究青贮玉米的最适播期和施氮水平，以满足畜牧业的快速发展，对实现经济、社会和生态的协调发展至关重要。

2022年，云南省青贮玉米种植面积12.47万hm^2，占1年生牧草种植面积的39.90%，供应饲草占1年生饲草产量的54.16%。全省饲草料自给不足，大部分养殖企业饲草料需要外购，加强优质饲草料生产至关重要[17]。为此，本研究在云南省大理州开展田间试验，以豫青贮23和曲辰9号两个品种为试验材料，探讨播期和施氮水平对青贮玉米农艺性状、产量及饲用价值的影响，筛选适宜该地区种植的青贮玉米品种、最佳播期与施氮水平，为当地畜牧业发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省大理市，地理坐标为100°10′30″ E，25°41′3″ N，海拔2 002 m[18]。该地区为亚热带高原季风气候，气温年较差小，日较差大，雨热同季。2023年当地年均气温为14.4 ℃，最暖月和最冷月分别为7月和1月(月均气温分别为22.2 ℃和11.0 ℃)，年累积太阳辐射量为5 810 MJ/m^2。年降水量为1 218 mm，6-10月为雨季(降水量占全年降水量的91%)，11月至次年5月为旱季。0～20 cm土壤阳离子交换量为10.88 cmol/kg，有机质含量为29.79 g/kg，全氮含量为3.60 g/kg，全磷含量为0.69 g/kg，全钾含量为8.20 g/kg。

1.2 试验设计

试验采用豫青贮23和曲辰9号两个青贮玉米品种。豫青贮23由河南省大京九种业有限公司选育，已通过国家玉米品种审定；曲辰9号由云南曲辰种业有限公司选育的新品种，已通过云南省玉米品种审定。

本研究以氮肥施用量和播期为研究因素，开展双因素田间试验。氮肥施用量设置3个水平，分别为0、100、200 kg/hm^2，用N0、N100、N200表示；播期设置两个水平，分别为6月(早播)和7月(晚播)。采用随机区组方法布置田间试验小区，小区长5 m，宽3.5 m，每个处理设4次重复。根据研究地点的气候特点及现有种植制度，起垄栽培，不覆膜，垄宽70 cm，沟宽50 cm。垄上行距60 cm，株距22.2 cm(折算播种密度为75 000株/hm^2)。播种方式为直播，在4叶期(V4)间苗保证种植密度，于6叶期(V6)人工去除田间杂草，田间管理与当地种植模式相同。试验期间为研究区域雨季，水分供给以雨养为主。早播于2023年6月4日播种，9月16日收获，全生育期104 d；晚播于7月8日播种，10月15日收获，全生育期102 d。

试验所用氮肥为尿素(N含量46%)，磷肥为过磷酸钙(P_2O_5含量16%)，钾肥为硫酸钾(K_2O含量52%)。播种前将肥料混匀后撒施于地表，使其于耕层土壤混合，磷、钾肥作为基肥一次施完，施用量分别为80、120 kg/hm^2。氮肥分基肥、拔节期(6叶期)、抽雄期3次施入，基追比为40%:30%:30%，追肥方式为侧深施。

1.3 物候指标观测

在每个小区设置专门的物候观测区，用于观测玉米生长发育物候进程。观测区包括玉米3行，每行玉米10株，共计30株。物候以观测区内50%以上植株到达某一生长发育阶段即为玉米群体抵达该生长发育阶段。监测的物候指标包括出苗期、6叶期(V6)、12叶期(V12)、吐丝期(R1)和乳熟期(R3)。

1.4 玉米样品的采集与测定

每次追肥前和收获前采集玉米样品，采样时期为6叶期、12叶期、吐丝期和乳熟期。采样时在各小区内部随机选取1行玉米，连续采样5株，测定单株株高、茎粗，乳熟期的植株同时测定穗位高。测定各部位鲜重，粉碎并分部位混合取样后装入尼龙网袋，置于烘箱中在105 ℃下杀青30 min，在70 ℃下烘干至恒重，计算茎秆、叶片和穗含水量，并计算各部位干重。产量测定于青贮玉米达到最佳采收期(乳熟期)时进行。测产时，在各小区内部随机选取1行玉米，每行连续取全株5株，记录其地上部鲜重及干物质量，并换算单位面积干物质产量。

1.5　营养指标测定

烘干样品粉碎后,用于测定粗蛋白(CP)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)等决定青贮玉米饲用价值的主要营养指标含量[19]。CP含量采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2016)测定,ADF含量采用过滤法(NY/T 1459-2022)测定,NDF含量采用坩埚法(GB/T 20806-2022)测定。相对饲用价值(RFV)采用公式(1)进行计算[20]。饲草分级指数(GI)根据国标GB/T 23387-2009,以奶牛为饲养对象,采用公式(4)进行计算。

$$RFV = 干物质采食量(DMI)\times 可消化干物质(DDM)/1.29 \quad (1)$$

$$DMI = 120/NDF \quad (2)$$

$$DDM = 88.9 - 0.779 \times ADF \quad (3)$$

$$GI = 产乳净能值(NE_L)\times 干物质随意采食量(VDMI)\times CP/NDF \quad (4)$$

$$NE_L = [1.044 - (0.0124 \times ADF)] \times 9.29 \quad (5)$$

$$VDMI = 1.2 \times 奶牛体重(BW,\ 以600\ kg计)/NDF \quad (6)$$

公式1~公式6中,DMI以奶牛体重为基础,DDM、NDF、ADF、CP以干物质为基础。

1.6　数据处理与分析

采用R软件进行数据处理与统计分析,对青贮玉米农艺性状、营养指标和饲用价值等指标在处理间的差异采用单因素方差分析,采用邦弗罗尼(Bonferroni)法进行事后多重比较,对青贮玉米的株高、茎粗、穗位高、产量、CP、ADF、NDF、RFV和GI共9个因子之间的相关性采用皮尔逊(Person's r)相关系数进行评价。

2　结果与分析

2.1　青贮玉米农艺性状

品种对株高有极显著影响($P<0.01$),豫青贮23的株高比曲辰9号高9.1%。播期、施氮水平以及品种和播期的交互作用对株高均有极显著影响($P<0.01$),早播与晚播的豫青贮23均在N100处理下株高最高;早播曲辰9号在N100处理下株高最高,晚播曲辰9号在N0处理下株高最高。不同处理对两个品种的茎粗无显著影响(表1、表2)。

品种和施氮水平对穗位高的影响极显著($P<0.01$),豫青贮23的穗位高比曲辰9号高7.1%。品种、播期及施氮水平三者的交互作用对穗位高的影响差异显著($P<0.05$)。随着施氮水平的增加,豫青贮23和曲辰9号的穗位高均有所增加。

2.2　青贮玉米产量与营养品质

品种对乳熟期青贮玉米产量无显著影响(表3),但播期和施氮水平对产量的影响极显著($P<0.01$)。品种和播期对粗蛋白、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维等营养指标的含量均有显著影响($P<0.05$)。施氮水平对粗蛋白和中性洗涤纤维含量有极显著影响($P<0.01$)。

表1　乳熟期不同处理青贮玉米农艺性状

Table 1　Agronomic traits of silage corn under different treatments at milk maturity

品 种 Variety	播 期 Sowing date	施氮水平 (kg/hm^2) Nitrogen application level	株 高 (cm) Plant height	茎 粗 (cm) Stem diameter	穗位高 (cm) Ear height
豫青贮23	早 播	0	319.79±16.10 a	2.29±0.14 a	117.94±1.84 a
		100	336.34±16.08 a	1.84±0.73 a	131.39±3.37 ab
		200	332.97±8.57 a	2.19±0.73 a	148.52±16.71 b
	晚 播	0	279.39±10.49 a	2.05±0.06 a	121.74±1.74 a
		100	297.64±10.32 a	2.27±0.07 a	135.91±16.85 a
		200	293.41±8.32 a	2.43±0.11 a	126.52±3.20 a
曲辰9号	早 播	0	252.32±38.95 a	1.41±0.83 a	121.79±9.08 a
		100	300.82±19.00 a	2.43±0.75 a	123.70±4.98 a
		200	298.64±28.60 a	2.63±0.88 a	123.86±4.33 a
	晚 播	0	268.55±9.38 a	2.05±0.07 a	116.11±7.28 a
		100	285.11±10.75 ab	2.27±0.08 b	120.16±6.71 a
		200	298.00±12.36 b	2.43±0.12 b	123.87±6.76 a

注:同列不同小写字母代表同一品种同一播期不同施氮水平差异显著($P<0.05$)

Notes: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between the different nitrogen application levels for the same variety and the same sowing period at the 0.05 level

表2 乳熟期不同处理青贮玉米农艺性状差异显著性分析

Table 2 Analysis of significant difference of agronomic traits of silage corn under different treatments at milk maturity

变异来源 Source of variation	株 高 Plant height	茎 粗 Stem diameter	穗位高 Ear height
*F*值			
品 种	18.606**	2.044	9.613**
播 期	10.770**	0.440	1.827
氮水平	7.859**	2.393	5.757**
品种×播期	10.731**	1.348	0.070
品种×氮水平	1.379	1.100	1.979
播期×氮水平	0.524	0.213	1.639
品种×播期×氮水平	0.649	2.254	3.310*
均 方			
误 差	437	0.419	95.6

注:"*、**"分别代表在*P*<0.05、*P*<0.01水平差异显著。下表、下图同

Note: * means the difference is significant at the 0.05 level, ** means the difference is significant at the 0.01 level. The same below

表3 乳熟期不同处理青贮玉米产量与营养指标差异显著性分析

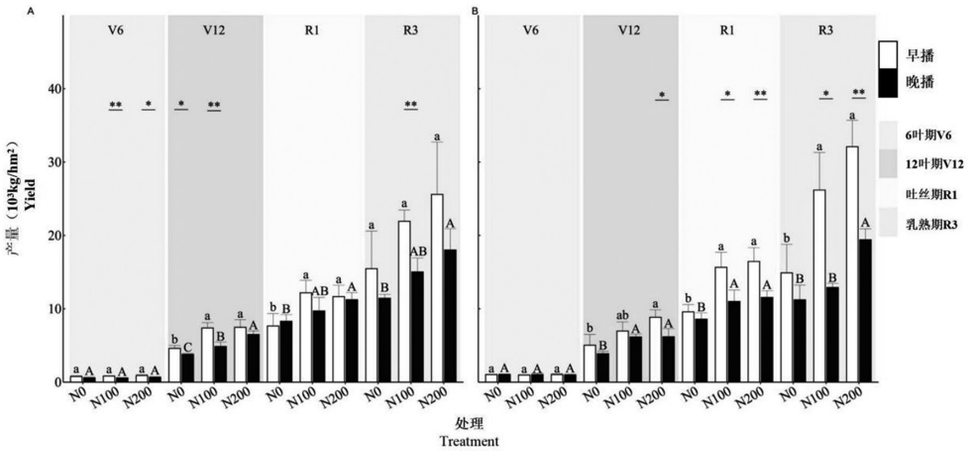
Table 3 Analysis of significant difference of yield and nutritional index of silage corn under different treatments at milk maturity

变异来源 Source of variation	产 量 Yield	粗蛋白 Crude protein	酸性洗涤纤维 Acid detergent fibre	中性洗涤纤维 Neutral detergent fibre
*F*值				
品 种	2.249	49.641**	42.055**	47.230**
播 期	60.656**	12.633**	7.243*	536.590**
氮水平	34.892**	52.914**	0.760	22.040**
品种×播期	3.234	1.099	3.225	48.850**
品种×氮水平	1.527	6.355**	4.483*	91.290**
播期×氮水平	4.102*	52.419**	35.434**	87.770**
品种×播期×氮水平	1.012	1.981	19.423**	24.400**
均 方				
误 差	12.7	0.091 0	2.33	1.50

12叶期及以后,施氮水平对两种青贮玉米产量的影响达显著水平(*P*<0.05),且青贮玉米的产量随着施氮量的增加而增加。以乳熟期为例,随着施氮水平的提高,早播处理下产量的提高幅度均大于晚播处理,且曲辰9号表现得更为显著。豫青贮23的产量提高幅度为7%,曲辰9号的产量提高幅度为57%(图1)。

播期对乳熟期N100处理下的豫青贮23和乳熟期N200处理下的曲辰9号产量影响极显著(*P*<0.01),对乳熟期N100处理下的曲辰9号产量影响显著(*P*<0.05),早播的青贮玉米产量显著高于晚播产量。乳熟期N100水平下,早播豫青贮23的产量比晚播提高46%,曲辰9号提高103%。豫青贮23早播的最高产量为25.59 t/hm^2,晚播的最高产量为18.02 t/hm^2;曲辰9号早播的最高产量为32.08 t/hm^2,晚播的最高产量为19.41 t/hm^2。

12叶期和乳熟期不同施氮水平对豫青贮和曲辰9号CP含量有显著影响(*P*<0.05),12叶期时CP含量随施氮水平增加而增加;乳熟期时豫青贮23和曲辰9号在早播N100处理下CP含量最高,在晚播N200处理下CP含量最高。乳熟期N200水平下早播和晚播对豫青贮23和曲辰9号CP含量的影响极显著(*P*<0.01)。豫青贮23 CP含量为5.96%~7.82%,曲辰9号CP含量为5.20%~7.29%,且相同处理下豫青贮23的CP含量普遍高于曲辰9号(图2)。



注:不同大小写字母分别代表晚播不同施氮水平差异显著(P<0.05)、早播不同施氮水平差异显著(P<0.05)。"*、**"代表同一时期同一施氮水平不同播期差异显著(P<0.05、P<0.01)。A表示豫青贮23,B表示曲辰9号。下图同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between the different nitrogen application levels in early sowing at the 0.05 level; and different capital letters indicate significant differences between the different nitrogen application levels in late sowing at the 0.05 level. "*/**" in dicate significant differences between the different sowing dates in the same nitrogen application level and the same period at the 0.05/0.01 level. A, Yuqingzhu 23. B, Quchen 9. The same below

图1　各生育期不同处理青贮玉米产量

Fig.1　Silage corn yield in different treatments at different growth stages

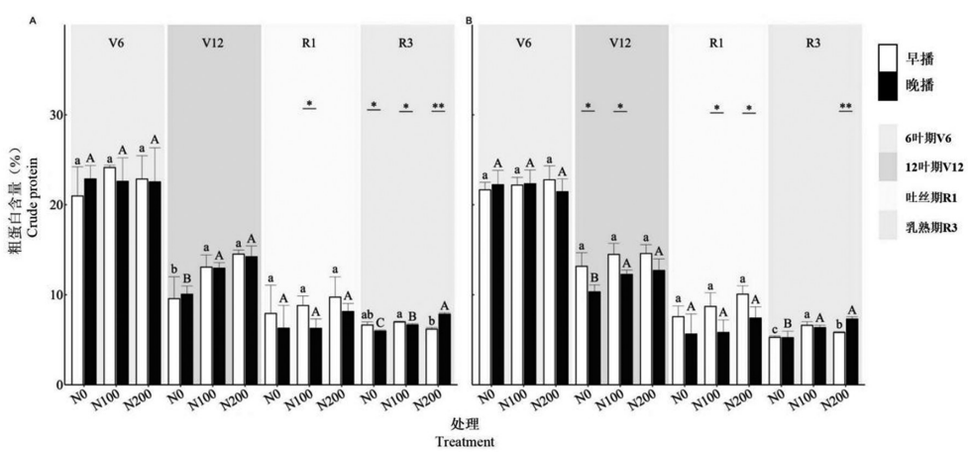


图2　各生育期不同处理青贮玉米粗蛋白含量

Fig.2　Crude protein content of silage corn in different treatments at different growth stages

随着生育期推进,青贮玉米ADF含量呈先上升后下降趋势,吐丝期含量最高。不同品种青贮玉米的全株ADF含量总体表现为曲辰9号高于豫青贮23。乳熟期时,豫青贮23的ADF含量为29.88%~32.69%,且在不同处理下无显著差异。不同播期和施氮水平的曲辰9号ADF含量差异显著(P<0.05)。对于早播的曲辰9号,随着施氮水平的提高,ADF含量逐渐下降,N0水平的ADF含量最高,为38.55%,显著高于N100和N200水平(P<0.05);对于晚播的曲辰9号,随着施氮水平的提高,ADF含量逐渐上升,N100和N200水平的ADF含量最高,分别为37.56%和36.21%,显著高于N0水平(P<0.05)(图3)。

随着生育期的推进,青贮玉米NDF含量呈先上升后下降的趋势,吐丝期含量最高。不同品种青贮玉米的全株NDF含量总体表现为豫青贮23高于曲辰9号。乳熟期时,随着施氮水平的提高,豫青贮23的NDF含量表现为先上升再下降,在N100水平时达到最大值,分别为早播58.69%和晚播69.11%。曲辰9号NDF含量随施氮水平的提高而增加,在N200水平时达到最大值,分别为早播54.19%和晚播63.09%。播期对两种青贮玉米的NDF含量有显著影响,以乳熟期为例,N100、N200水平的豫青贮23与N200水平的曲辰9号均达到极显著水平(P<0.01),且均为晚播比早播高8.43%、20.05%与8.90%(图4)。

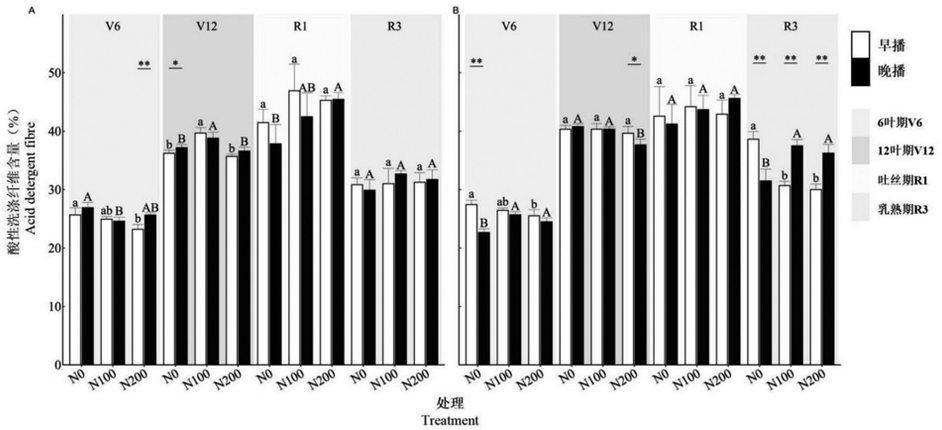


图3 各生育期不同处理青贮玉米酸性洗涤纤维含量

Fig.3 Acid detergent fibre content of silage corn in different treatments at different growth stages

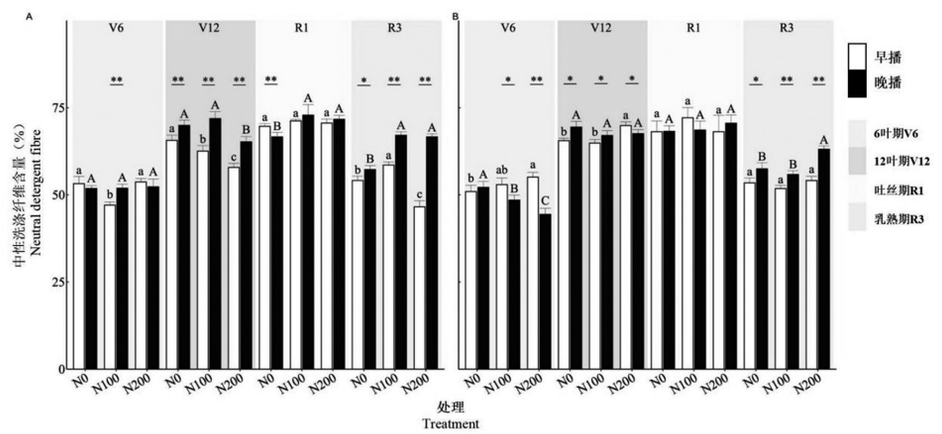


图4 各生育期不同处理青贮玉米中性洗涤纤维含量

Fig.4 Neutral detergent fibre content of silage corn in different treatments at different growth stages

2.3 青贮玉米饲用价值

随着施氮水平提高，早播豫青贮23的RFV值先下降后上升，早播曲辰9号的RFV值逐渐上升。晚播的两种青贮玉米RFV值均下降，除早播豫青贮23外，N100和N200水平的青贮玉米RFV值无显著差异。根据播期不同，早播青贮玉米的RFV值显著高于晚播青贮玉米。以N200水平为例，早播豫青贮23的RFV比晚播高44%，早播曲辰9号的RFV比晚播高26%(P<0.01)。

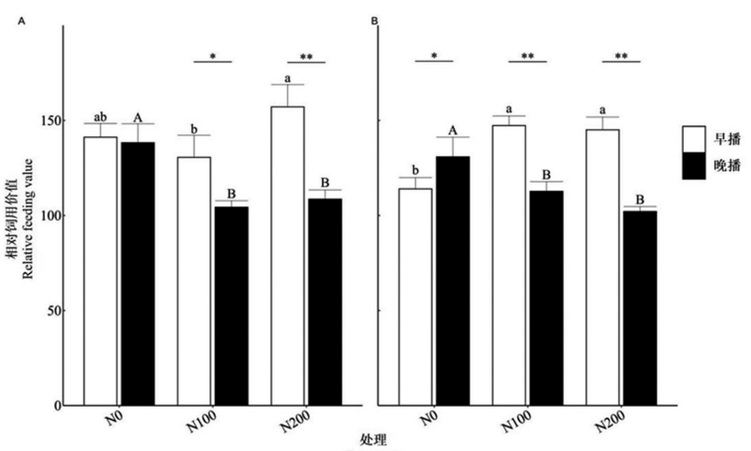


图5 乳熟期不同处理青贮玉米相对饲用价值

Fig.5 Relative feeding value of silage corn in different treatments at milk maturity

随着施氮水平的提高,豫青贮23的GI值先下降后上升,但早播处理下N0和N100水平之间GI值无显著差异;晚播处理下N0和N200水平之间GI值无显著差异。曲辰9号的GI值先上升后下降,早播处理下的GI值为N100最高,然后依次是N200和N0处理,且差异显著(P<0.05);晚播处理下3个施氮水平之间的GI值无显著差异。播期对两种青贮玉米的GI值有显著影响(P<0.05),均表现为早播大于晚播,以N100水平为例,早播豫青贮23的GI值相较于晚播增加42%,早播曲辰9号的GI值相较于晚播增加39%(P<0.01)(图6)。

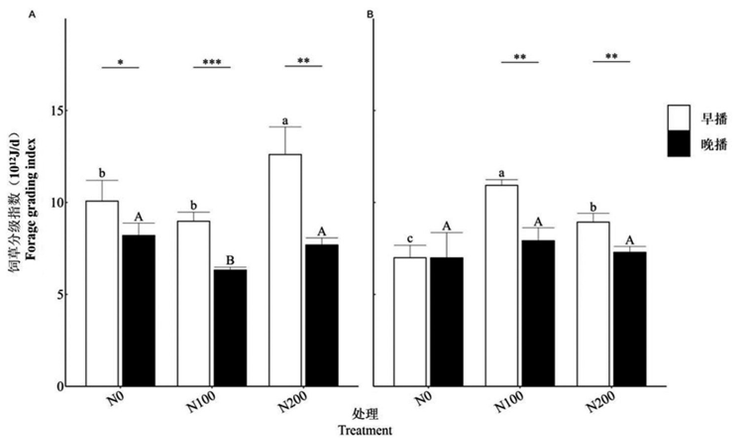


图6　乳熟期不同处理青贮玉米饲草分级指数

Fig.6　Forage grading index of silage corn in different treatments at milk maturity

表4　乳熟期不同处理青贮玉米饲用价值差异显著性分析

Table 4　Analysis of the significant difference of feeding value of silage corn in different treatments at milk maturity

变异来源 Source of variation	相对饲用价值 Relative feeding value	饲草分级指数 Forage grading index
F值		
品　种	4.479*	12.129**
播　期	108.573**	103.869**
氮水平	3.732*	7.125**
品种×播期	1.625	11.992**
品种×氮水平	16.271**	31.248**
播期×氮水平	50.045**	9.695**
品种×播期×氮水平	3.358*	5.256**
均　方		
误　差	59.000	0.640

品种对RFV、GI的影响差异显著(P<0.05)。播期对RFV、GI的影响差异极显著(P<0.01),早播时RFV和GI值更高。施氮水平对RFV、GI的影响差异显著(P<0.05),N0水平下RFV值最高,N200水平下GI值最高(表4)。

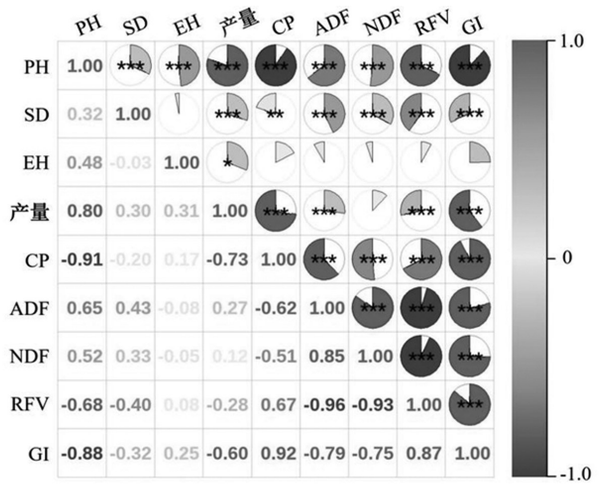
2.4　农艺性状及产量与营养品质的相关性分析

产量与株高、茎粗和穗位高等农艺性状呈正相关关系,且与株高和茎粗的相关性极显著(P<0.001);与穗位高的相关性显著(P<0.05)。产量与CP、RFV、GI呈极显著负相关(P<0.01)。随着产量上升,ADF含量极显著增加(P<0.01),但对NDF的含量无显著影响(图7)。

3　结论与讨论

3.1　青贮玉米产量在品种间的差异

本研究中,曲辰9号的产量高于豫青贮23,二者的差异从统计上看不显著。豫青贮23和曲辰9号均在早播N200处理下产量最高,分别为25.59 t/hm^{2}和32.08 t/hm^2。现有很多研究中,均发现青贮玉米的产量在品种间存在巨大差异。张家华等[21]在云南省龙陵县对西抗18、大天1号等8个青贮玉米品种进行研究,其产量在品种间的差异为17.30~22.40 t/hm^2,



注：PH代表株高；SD代表茎粗；EH代表穗位高；CP代表粗蛋白含量；ADF代表酸性洗涤纤维含量；NDF代表中性洗涤纤维含量；RFV代表相对饲用价值；GI代表饲草分级指数

Note: PH means plant height; SD means stem diameter; EH means ear height; CP means crude protein content; ADF means acid detergent fibre content; NDF means neutral detergent fibre content; RFV means relative feeding value; GI meas forage grading index

图7 全生育期青贮玉米各指标的相关系数

Fig.7 Correlation coefficient of each index of silage corn during whole growth period

最高产品种的产量比最低产品种高29.5%。徐翠等[22]在云南永德县选取曲辰9号等5个品种进行研究，春播的5个品种全株干草产量为12.57～17.97 t/hm^2，品种间差异不显著；夏播各品种产量为7.62～18.54 t/hm^2，品种间的产量差异非常明显。安道渊等[23]在云南宣威选取了鄂玉10号等16个品种，发现产量最高的品种云优78仅有7.67 t/hm^2，与其他研究相比，其产量明显偏低。

此外，与国内其他研究相比，本研究两个品种的青贮玉米产量均处于高水平，表明研究区域适合种植青贮玉米。受娜等[24]研究表明，豫青贮23在甘肃省庆阳市的产量在2019年和2020年分别达到22.00 t/hm^{2}和23.20 t/hm^2。对于曲辰9号，在云南昆明地区的产量为25.80 t/hm^2[25]，在云南临沧地区的产量约为18.00 t/hm^2，两地的产量远低于该品种在本研究中的产量(32.08 t/hm^2)。

3.2 青贮玉米饲用价值在品种间的差异

豫青贮23和曲辰9号的产量差异不明显，豫青贮23的营养指标优于曲辰9号，乳熟期的饲用价值也优于曲辰9号。豫青贮23的CP和NDF含量高于曲辰9号，曲辰9号的ADF含量高于豫青贮23。CP是饲料中含氮物质的总称，是动物饲料中主要的营养物质，决定玉米饲用营养价值[26]；NDF是结构性碳水化合物，是草食动物的主要能源物质；ADF是植物体中最稳定的、难以消化的部分，其含量与干物质的消化率成反比。因此，豫青贮23更高的CP含量和更低的ADF含量导致其饲用价值更高。

3.3 播期对青贮玉米产量与饲用价值的影响

在本研究中，早播的青贮玉米产量更高，CP含量更高，ADF与NDF含量更低，RFV与GI值更高。一般认为，播期主要通过影响青贮玉米在全生育期内可利用的光热资源和水资源特征来影响产量和饲用价值[27-28]。内蒙古的研究显示，在5月初前后10 d左右，最佳播种期可使青贮玉米产量提高12%，淀粉含量、酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量等品质指标也得到显著改善[29]。有研究认为，云南亚热带地区的青贮玉米种植时间以5月底至6月初为宜，收获时间一般在9月份，这与云南亚热带地区的降雨、气温是吻合的[30]，符合本研究早播青贮玉米生长时间段的水热特征。

3.4 施氮水平对青贮玉米产量与饲用价值的影响

本研究发现，施氮水平对青贮玉米的产量、CP与NDF含量有显著正面影响，对RFV与GI值也有显著影响，且饲用价值对施氮量的响应在品种间也存在差异。其中豫青贮23的饲用价值在N200水平下表现最好，曲辰9号的饲用价值在N100水平下表现最好。有研究发现，在同一种植密度水平下，产量与施氮量成正比[31]，营养价值也随着施肥量的增加而增加[32]。许多研究表明，增加氮肥用量可以显著增加饲料产量、CP含量，降低ADF和NDF含量[33-34]。另有研究发现，随着施氮量的增加，地上部干重产量、CP含量随之增加，ADF含量先减再增，

NDF含量变化不明显[35]。

3.5　青贮玉米产量与饲用价值的权衡

随着青贮玉米生育期的推进，两个青贮玉米品种的产量逐渐增加，青贮玉米的相对饲用价值和饲草分级指数均下降，表明产量和品质之间存在权衡的关系。在青贮玉米产量提高的同时表现出养分含量减少、可消化率降低的现象，导致饲用价值下降[36-37]。进一步分析表明，本研究青贮玉米产量的提升主要伴随着CP含量下降及相应的ADF含量上升，二者共同作用导致饲用价值降低，NDF含量不受产量影响。优良的青贮玉米应该具有较高的干物质产量和较好的饲用价值，因此在实际生产中应对两者进行权衡，合理选择收割时间，既要考虑较高的产量，同时还要兼顾较好的饲用价值。

总体而言，豫青贮23和曲辰9号两个青贮玉米品种在云南大理洱海流域的产量表现较好，适宜在当地推广种植。播期对青贮玉米生产具有显著影响，6月初是较为适宜的播种时期。施氮水平对青贮玉米的产量和品质均有显著影响，但影响特征在品种间存在差异。随着施氮水平的提高，两个青贮玉米的产量均增加，但豫青贮23的饲用价值先下降后上升，曲辰9号的饲用价值先上升后下降。建议该地区豫青贮23的施氮量为200 kg/hm^2，曲辰9号的施氮量为100 kg/hm^2。另外，青贮玉米产量的提升伴随着CP含量下降以及相应的ADF含量上升，进而导致饲用价值降低。因此，在实际生产中，高产与高品质难以兼顾，应根据生产需要对产量和品质进行权衡。

参考文献：

[1] 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 .
GAN H L, QUAN J P, MA Y J, et al. Evaluation on performance and nutritional value of new varieties of silage maize with different quality and high yield[J]. Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2017, 36(5): 11-15. (in Chinese)

[2] 倪印锋，王明利 . 中国青贮玉米产业发展时空演变及动因[J] . 草业科学，2019，36(7)：1915-1924 .
NI Y F, WANG M L. Temporal and spatial evolution and motivation of silage maize industry in China[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(7): 1915-1924. (in Chinese)

[3] HE L W, WU H, WANG G G, et al. The effects of including corn silage, corn stalk silage, and corn grain in finishing ration of beef steers on meat quality and oxidative stability[J]. Meat Science, 2018, 139(5): 142-148.

[4] 方勇，程林润，朱璞，等 . 施肥处理对南方青贮玉米产量和植株性状的影响[J] . 草业科学，2010，27(3)：98-101 .
FANG Y, CHENG L R, ZHU P, et al. Effects of fertilization treatment on yield and plant traits of silage maize in southern China[J]. Pratacultural Science, 2010, 27(3): 98-101. (in Chinese)

[5] 郑美，李娟，孙峰成，等 . 不同品种和青贮方式对玉米青贮品质影响的研究进展[J] . 北方农业学报，2020，48(5)：43-48 .
ZHENG M, LI J, SUN F C, et al. Research progress on effects of different varieties and silage methods on silage quality of maize[J]. Journal of Northern Agricultural Sciences, 2020, 48(5): 43-48. (in Chinese)

[6] 丁婉，邢宝龙 . 青贮玉米与大豆秸秆混合比例及添加剂对青贮品质及微生物数量的影响[J] . 核农学报，2023，37(7)：1489-1495 .
DING W, XING B L. Effects of mixed proportion of corn and soybean straw and additives on silage quality and microbial quantity[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2023, 37(7): 1489-1495. (in Chinese)

[7] 路海东，薛吉全，郝引川，等 . 播期对雨养旱地春玉米生长发育及水分利用的影响[J] . 作物学报，2015，41(12)：1906-1914 .
LU H D, XUE J Q, HAO Y C, et al. Effects of sowing date on growth, development and water use of spring maize in rain-fed dryland[J]. Acta Cropologica Sinica, 2015, 41(12): 1906-1914.

[8] 许瀚林，袁慧敏，刘瑶，等 . 播期对冀西北农牧交错区青贮玉米产量和品质的影响[J] . 饲料研究，2020，43(11)：100-105 .
XU H L, YUAN H M, LIU Y, et al. Effects of sowing date on yield and quality of silage maize in the agro-pastoral ecotone of northwest Hebei[J]. Feed Research, 2020, 43(11): 100-105. (in Chinese)

[9] 曹庆军，杨粉团，陈喜凤，等 . 播期对吉林省中部春玉米生长发育、产量及品质的影响[J] . 玉米科学，2013，21(5)：71-75 .
CAO Q J, YANG F T, CHEN X F, et al. Effects of sowing date on growth, yield and quality of spring maize in central Jilin Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(5): 71-75. (in Chinese)

[10] 李曼，陈哲，郑磊 . 播期与种植密度对青贮玉米生物产量及品质的影响[J] . 新疆农垦科技，2023，46(6)：5-10 .
LI M, CHEN Z, ZHENG L. Effects of sowing date and planting density on biological yield and quality of silage maize[J]. Xinjiang Land Reclamation Science and Technology, 2023, 46(6): 5-10. (in Chinese)

[11] 魏荔，张怀文，孙义祥，等 . 不同施肥处理对青贮玉米产量和品质的影响[J] . 中国农学通报，2008，24(3)：227-230 .
WEI L, ZHANG H W, SUN Y X, et al. Effects of different fertilization treatments on yield and quality of silage maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(3): 227-230.(in Chinese)

[12] 高连枝，那胜 . 施肥对青贮玉米产量的影响[J] . 畜牧与饲料科学，2008(6)：68-69 .
GAO L Z, NA S. Effects of fertilization on silage yield[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2008(6): 68-69. (in Chinese)

[13] 朱霞，杨文钰，任万君 . 粮饲兼用型玉米全株饲用营养价值及其调控[J] . 草业学报，2005，14(5)：92-98 .
ZHU X, YANG W Y, REN W J. Feeding nutritional value and its regulation of grain-feeding maize[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(5): 92-98. (in Chinese)

[14] 韩秉进，刘春龙，黄常柱，等 . 不同肥料配比对青贮玉米产量的影响[J] . 中国土壤与肥料，2006(6)：60-61 .
HAN B J, LIU C L, HUANG C Z, et al. Effects of different fertilizer ratios on silage maize yield[J]. China Soil and Fertilizer, 2006(6): 60-61. (in Chinese)

[15] 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 .
ZHU Y Q, WANG X, PENG J H, et al. Effects of density and nitrogen application on yield and quality of Yayu No.8 silage maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(6): 92-97. (in Chinese)

[16] 刘基敏 . 四川青贮玉米产业发展的主要实践与几点启示[J] . 四川农业科技,2006(9):7-8 .
LIU J M. Main practice and enlightenment of the development of silage maize industry in Sichuan[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2006(9): 7-8. (in Chinese)

[17] 云南省饲草饲料工作站 . 云南省2022年饲草生产形势分析报告[R] . 云南:云南省农业农村厅,2023 .

[18] 崔玉涛,季贞希,张彪,等 . 甜玉米产量和氮磷养分利用率对施氮量的响应[J] . 安徽农业科学,2020,48(19):157-165 .
CUI Y T, JI Z X, ZHANG B, et al. Responses of yield and nitrogen and phosphorus utilization of sweet maize to nitrogen application rate[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(19): 157-165. (in Chinese)

[19] ZHAO M Y, FENG Y P, SHI Y, et al. Yield and quality properties of silage maize and their influencing factors in China[J]. Sci. China Life Sci., 2022, 65, 1655-1666.

[20] 张吉鹃 . 反刍家畜粗饲料品质评定的指标及其应用比较[J] . 中国畜牧杂志,2006,42(5):47-50 .
ZHANG J K. Quality evaluation parameters of ruminant coarse fodder and their application comparison[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2006, 42(5): 47-50. (in Chinese)

[21] 张家华,王永必,杨庆然,等 . 龙陵县不同青贮玉米品种农艺性状及营养成分分析[J] . 中国奶牛,2019(9):47-52 .
ZHANG J H, WANG Y B, YANG Q R, et al. Analysis of agronomic traits and nutritional components of different silage maize varieties in Longling County[J]. Chinese Dairy Cow, 2019(9): 47-52. (in Chinese)

[22] 徐翠,陈梅,秦源源,等 . 云南永德县南亚热带地区“粮改饲”青贮玉米品种筛选[J] . 草学,2020(1):26-32 .
XU C, CHEN M, QIN Y Y, et al. Screening of maize varieties of "grain to feed" silage in South subtropical area of Yongde County, Yunnan[J]. Herbology, 2020(1): 26-32. (in Chinese)

[23] 安道渊,黄必志 . 几个青贮玉米品种在云南宣威的适应性研究[J] . 草业与畜牧,2007(11):5-8 .
AN D Y, HUANG B Z. Study on adaptability of several silage maize varieties in Xuanwei, Yunnan Province[J]. Pratacultural and Animal Husbandry, 2007(11): 5-8. (in Chinese)

[24] 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[J] . 草业科学,2021,38(7):1351-1361 .
SHOU N, GAO W, SHEN Y Y, et al. Effects of different nitrogen application rates on yield and water use efficiency of silage maize [J]. Pratacultural Science, 2021, 38(7): 1351-1361. (in Chinese)

[25] 潘蒙英健,高峰,李长忠,等 . 黄淮海地区不同青贮玉米品种播期及其适应性研究[J] . 青岛农业大学学报(自然科学版),2018,35(3):200-206 .
PAN M Y J, GAO F, LI C Z, et al. Study on sowing dates and adaptability of different silage maize varieties in Huang-Huai-Hai area [J]. Journal of Qingdao Agricultural University(Natural Science Edition), 2018, 35(3): 200-206. (in Chinese)

[26] 周文静,李文娟,郭涛,等 . 品种及收获时间对青贮玉米营养组成的影响[J] . 草业科学,2022,39(7):1419-1428.
ZHOW W J, LI W J, GUO T, et al. Effects of variety and harvest time on nutrient composition of silage maize[J]. Pratacultural Science, 2022, 39(7): 1419-1428. (in Chinese)

[27] 闫鹏 . 播期、品种、氮肥管理对华北春玉米产量的影响及机理研究[D] . 北京:中国农业大学,2018 .

[28] 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,2020 .

[29] 张建辉 . 播期对青贮玉米生物产量和品质的影响[J] . 农业科技与信息,2024(3):33-35,39.
ZHANG J H. Effects of sowing date on biological yield and quality of maize silage[J]. Agricultural Science and Information, 2024(3): 33-35, 39. (in Chinese)

[30] 叶瑞卿,薛世明,杨国荣,等 . 云南适种高产优质青贮玉米品种筛选试验研究[J] . 云南农业大学学报(自然科学),2012,27(4):467-474 .
YE R Q, XUE S M, YANG G R, et al. Screening test of suitable high-yield and high-quality silage maize varieties in Yunnan[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2012, 27(4): 467-474. (in Chinese)

[31] 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. Effects of nitrogen application rate and planting density on yield and quality of silage maize [J]. China Feed, 2024(1): 141-148. (in Chinese)

[32] ZHAO M Y, FENG Y P, SHI Y, et al. Yield and quality properties of silage maize and their influencing factors in China[J]. Science China(Life Sciences), 2022, 65(8): 1655-1666.

[33] KAPLAN M, BARAN O, UNLUKARA A, et al. The effects of different nitrogen doses and irrigation levels on yield,nutritive value, fermentation and gas production of corn silage[J]. Turkish Journal of Field Crops, 2016, 21: 100-108.

[34] 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 .
SONG J H, ZHAO X, GAO Y Q, et al. Effects of nitrogen application on yield and quality of silage maize[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(5): 155-156. (in Chinese)

[35] 屈绳娟,沈益新 . 氮肥与密度对青贮玉米产量和品质的影响[J] . 江苏农业学报,2009,25(3):596-600 .
QU S J, SHEN Y X. Effects of nitrogen fertilizer and density on yield and quality of silage maize[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2009, 25(3): 596-600. (in Chinese)

[36] 孙连双,李东阳,张亚龙,等 . 收获期对青贮玉米产量的影响[J] . 中国农学通报,2010,20(3):157-160 .
SUN L S, LI D Y, ZHANG Y L, et al. Effect of harvest of yield on silage maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 20(3): 157-160. (in Chinese)

[37] 冯鹏 . 品种与栽培技术对玉米产量及青贮质量的影响[D] . 北京:中国农业科学院,2011 .

(责任编辑:姜媛媛)