

王珍珍,史雷,徐伟洲,等.不同追肥处理对榆林风沙区青贮玉米生产性能与营养品质的影响[J].山西农业科学,2026,54(1):130-142.

WANG Z Z,SHI L,XU W Z,et al. Effects of different topdressing treatments on production performance and nutritional quality of silage corn in Yulin sandstorm area[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2026,54(1):130-142.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.01.15

不同追肥处理对榆林风沙区青贮玉米 生产性能与营养品质的影响

王珍珍¹,史雷¹,徐伟洲^{1,2},韩侠^{1,2},乔雨^{1,2},卜耀军^{1,2}

(1.榆林学院 现代农学院,陕西 榆林 719000;2.榆林学院 陕西省黄土高原饲用植物工程技术研究中心,陕西 榆林 719000)

摘 要:为了探索榆林风沙区青贮玉米最佳追肥处理以及不同追肥处理对青贮玉米生产性能与营养品质的影响,为区域青贮玉米种植技术的提升提供科学依据,试验以2个青贮玉米品种(大京九23(DJJ23)与禾玉9566(HY9566))为研究对象,设置4种追肥处理(不追肥(T1,对照)、追有机肥(T2)、追复合肥(T3)、追有机肥与复合肥(T4)),在关键生育时期测定青贮玉米的农艺性状、叶绿素荧光参数、产量及品质的指标,并通过灰色关联度法综合评价获得最优追肥配方。结果表明,收获期DJJ23的T3处理与HY9566的T2处理的株高均最高,分别比其他处理提升了1.31%~2.84%与1.47%~4.15%。HY9566的T2处理茎粗高于其他追肥处理3.32%~9.38%。DJJ23的T4处理与HY9566的T4处理穗鲜质量(447.612.2 g/株)、千粒质量(435.6、459.6 g)、籽粒产量(23.28、32.69 t/hm²)均最高。DJJ23的T3处理与HY9566的T2处理的鲜草与干草产量最高,鲜草产量分别高于T1处理17.19%与18.64%,干草产量分别高于T1处理22.32%与17.95%。DJJ23的T3处理与HY9566的T4处理均显著提高了叶绿素相对含量及荧光参数(NPQ、qP、ETR和Fv/Fm)。DJJ23的T4处理与HY9566的T2处理的洗涤纤维指标均最低,相对饲喂价值最高,分别比T1处理提升了3.88%与5.85%。灰色关联度综合评价结果显示,DJJ23的T4处理与HY9566的T2处理为最优。综上所述,大京九23适宜追施有机肥与复合肥,禾玉9566适宜追施有机肥。

关键词:青贮玉米;生产性能;营养品质;灰色关联度

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2026)01-0130-13

Effects of Different Topdressing Treatments on Production Performance and Nutritional Quality of Silage Corn in Yulin Sandstorm Area

WANG Zhenzhen¹,SHI Lei¹,XU Weizhou^{1,2},HAN Xia^{1,2},QIAO Yu^{1,2},BU Yaojun^{1,2}

(1.College of Advanced Agricultural Sciences,Yulin University,Yulin 719000,China;2.Shaanxi Engineering Research Center for Forage Plants of the Loess Plateau,Yulin University,Yulin 719000,China)

Abstract: To explore the optimal topdressing treatment for silage corn in the sandstorm area of Yulin and the effects of different topdressing treatments on production performance and nutritional quality, providing a scientific basis for improving regional silage corn cultivation techniques, in this study, two silage corn varieties(Dajingjiu 23 and Heyu 9566) were used as research subjects. Four topdressing treatments were set up(no topdressing(T1,control), topdressing with organic fertilizer(T2), topdressing with compound fertilizer(T3), and topdressing with both organic and compound fertilizers(T4)). Agronomic traits, chlorophyll fluorescence parameters, yield, and quality indicators were measured at key growth stages, and the optimal topdressing formula was obtained through comprehensive evaluation using the grey relational analysis method. The results showed that at harvest, the plant height of Dajingjiu 23(DJJ23) under T3 treatment and Heyu 9566(HY9566) under T2

收稿日期:2025-03-13

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2024NC-YBXM-084);陕西省科技资源开放共享平台项目(2024CX-GXPT-31);榆林市科学技术研发专项(2025-CXY-119)

作者简介:王珍珍,在读硕士,研究方向:人工饲草的栽培与管理,E-mail:18700223953@163.com

通信作者:史雷,高级实验师,主要从事人工饲草的栽培与管理研究,E-mail:shilei_ylyx@126.com

treatment was the highest, increasing by 1.31%–2.84% and 1.47%–4.15%, respectively, compared to other treatments. The stem diameter of HY9566 under T2 treatment was higher than that under other topdressing treatments by 3.32%–9.38%. The fresh weight of ears(447, 612.2 g/plant), thousand-grain weight(435.6, 459.6 g), and grain yield(23.28, 32.69 t/ha) were the highest under DJJ23 T4 treatment and HY9566 T4 treatment. DJJ23 T3 treatment and HY9566 T2 treatment had the highest fresh and dry grass yield, fresh grass yield was 17.19% and 18.64% higher than that under T1 treatment, respectively, and dry grass yield was 22.32% and 17.95% higher than that under T1 treatment, respectively. DJJ23 T3 treatment and HY9566 T4 treatment significantly increased relative chlorophyll content and fluorescence parameters(NPQ, qP, ETR, and Fv/Fm). The washing fiber indicators of DJJ23 T4 treatment and HY9566 T2 treatment were the lowest, with the highest relative feeding value, increasing by 3.88% and 5.85%, respectively, compared to T1 treatment. Grey relational analysis comprehensive evaluation indicated that DJJ23 T4 treatment and HY9566 T2 treatment were the optimal. In summary, Dajingjiu 23 was suitable for combined topdressing with organic and compound fertilizers, while Heyu 9566 was suitable for topdressing with organic fertilizer.

Keywords: silage corn; production performance; nutritional quality; grey correlation degree

青贮玉米(*Zea mays*)属禾本科玉蜀黍属作物,凭借其生物产量高、适口性优良、全株可饲用等特点,已成为反刍动物养殖的核心饲草资源^[1-3]。2025年中央一号文件明确提出“提升饲草供给能力,加快草原畜牧业转型升级”的战略部署^[4],在此背景下,发展青贮玉米种植对缓解“粮饲争地”矛盾,保障粮食安全与草原生态平衡具有战略意义。榆林市作为典型风沙区域(风沙土占比超过40%),其畜牧业历史悠久且产业规模庞大,对青贮玉米存在持续旺盛的生产需求。然而,现有研究多集中于传统玉米的种植模式,针对风沙区特殊生境下的精准追肥技术体系尚未完善。因此,筛选追肥模式对于风沙区青贮玉米至关重要。

饲草生产性能由其遗传特性^[5]与外界因素共同决定^[6]。青贮玉米在拔节期与大喇叭口期对养分响应尤为敏感,直接影响着青贮玉米品质及生物产量。当前青贮玉米的生产性能评价体系涵盖农艺性状、光合生理参数及营养品质等综合维度。程红玉等^[7]采用生物有机肥替代10%、20%、30%化肥处理,在保持总养分供给前提下,可显著促进青贮玉米植株生长,改善果穗性状,鲜草与籽粒产量分别较常规追肥处理提高7.08%~25.64%和0.09%~32.73%。肖兴中等^[8]研究发现,追施1500 kg/hm²复合肥对夏玉米生物产量的提升优于有机肥。张文芝^[9]通过对15个青贮玉米品种的果穗率与饲料品质研究发现,产量主要受果穗率、穗位高、茎粗和株高的影响。张正等^[10]对山西省玉米春播特早熟Ⅱ区6 a间区域试验品种的主要农艺性状和穗部性状进行了相关性和偏相关性分析,结果表明,玉米株高与百粒质量呈正相关,与

穗大小和穗粒数呈负相关;玉米穗位高与穗粗、行粒数呈负相关。谢业春等^[11]设置4个梯度的追肥试验,结果表明,当追氮肥量达到130~150 kg/hm²时,玉米产量达到峰值。

本研究以榆林风沙区2个常规栽培的青贮玉米品种为对象,设置不同有机肥和复合肥追肥处理,测定其农艺性状、叶绿素荧光参数、产量及营养品质等指标,并通过灰色关联度模型进行综合性状评价分析获得最适的追肥配方,旨在为榆林风沙区青贮玉米产量的提高提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2024年4月28日至9月11日在陕西省榆林市榆阳区牛家梁镇农业示范园(北纬38°38′,东经109°75′)开展,该地区属于干旱半干旱大陆性季风气候,海拔1100 m,气温日较差很大,年均气温为11.4℃,无霜期150 d左右,年均降水量为414 mm,降水季节分布不均,其中7—9月占60%~80%。0~20 cm土层养分含量为有机质5.1 g/kg,碱解氮23.57 mg/kg,有效磷2.08 mg/kg,速效钾63 mg/kg, pH值为8.75。前茬作物为苜蓿。

1.2 试验材料

供试玉米品种为大京九23(DJJ23)和禾玉9566(HY9566),种子均购自榆林市金色农资有限公司。试验用复合肥为黄腐酸钾型,氮、磷、钾配比为18%、18%、18%;有机肥为腐熟的生物有机肥,有机质≥45%,均购自庄稼汉农资有限公司。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,底肥中N、

P_2O_5 、 K_2O 的施肥量分别为 207、117、90 kg/hm²。共设 4 个处理,分别为:T1.不追肥(对照);T2.追有机肥 1 500 kg/hm²;T3.追复合肥 600 kg/hm²;T4.追有机肥 1 200 kg/hm²和复合肥 300 kg/hm²。每个处理 3 次重复,共 24 个小区。各小区面积为 20.8 m²(5.2 m×4.0 m),采用宽窄行的种植模式,宽行行距为 0.9 m,窄行行距为 0.3 m,在窄行中间设置一条滴灌带,株距 22 cm,种植密度为 86 535 株/hm²。追肥采取沟施,5 月 1 日施底肥,拔节期与大喇叭口期追肥 2 次,每次追 50%。2024 年 9 月 11 日进行青贮玉米取样和测产。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状的测定 株高和茎粗分别在青贮玉米的拔节期、大喇叭口期、抽雄期、吐丝期、灌浆期和蜡熟期测定,穗长、穗粗、穗鲜质量、千粒质量、秃尖长及穗位高在青贮玉米收获期测定。株高测定地表至穗顶端的绝对高度,每小区固定 5 株测定,取其平均值;茎粗用游标卡尺测量穗下第 2~3 节的茎直径,每小区固定 5 株测定,取其平均值;穗鲜质量在植株成熟后,每小区随机选取 5 株测定质量,千粒质量随机选取 1 000 粒种子,称质量并做 5 次重复。

1.4.2 叶绿素荧光参数的测定 在所标记的 5 株玉米上随机标记第 5、6 片长势均等的功能叶,选择各生育期内连续晴朗的几天,于 7:00—9:00 用 SPAD 仪器测定各小区标记叶片的叶绿素值。用锡纸将叶片进行暗处理 30 min,使用 PAM-2500 便携叶绿素荧光仪进行荧光参数测定,测量时,先用暗适应叶片夹 DLC-8 夹到叶片上,打开滑片,开始记录荧光指标,样品暗适应后执行饱和脉冲记录初始荧光产量(F_0)和最大荧光产量(F_m),并计算出反映 PS II 光能利用效率的参数。

$$Fv/Fm = (Fm - F_0) / Fm \quad (1)$$

$$Fv/F_0 = (Fm - F_0) / F_0 \quad (2)$$

式中, Fv/Fm 为 PS II 最大光合量子产量,反映了样品的光合潜能; Fv/F_0 反映 PS II 的实际光量子产量。其他的荧光比例参数以背景色显示出来,分别是实际光化学效率($Y(II)$)、非光化学淬灭系数(NPQ)、光化学淬灭系数(qP)、通过 PS II 电子传递速率(ETR)。

1.4.3 产量的测定 在青贮玉米乳熟后期至蜡熟前期进行收获及采样,留茬 10 cm 进行刈割,取中

间 3 行在玉米籽粒乳线达到 1/2~2/3 时进行收获,称鲜质量,根据小区面积折算每公顷鲜草产量。之后将取得样切碎后放置在 105 ℃烘箱中杀青 30 min,85 ℃烘干至恒质量,称质量,计算干草产量;待剩余各行完全成熟后进行籽粒测产,计算 13% 标准含水量下的籽粒产量。

1.4.4 营养品质的测定 将烘干至恒质量的青贮玉米样品进行粉碎,装入自封袋带回实验室待测。粗蛋白使用凯氏定氮法进行测定;粗脂肪使用浸提法进行测定;粗灰分使用高温直接灰化法进行测定;淀粉使用高氯酸水解-蒽酮比色法进行测定;粗纤维使用过滤法进行测定;中性洗涤纤维(NDF)与酸性洗涤纤维(ADF)使用范式洗涤纤维分析法测定。

1.4.5 灰色关联度分析 将青贮玉米品种下的 4 种供试追肥处理及 16 项性状视作一个灰色系统,其中各追肥处理或性状视为系统要素,通过量化要素与理想状态的趋近程度,各要素关联度越大,相似度越高。选取各指标最优观测值,构成理想参照序列 $x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)\}$;各指标实测数据构成比较序列: $x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)\}$ 。其中, $k=1, 2, 3, \dots, n$, n 为测定指标数(此处为 16); $i=1, 2, 3, \dots, m$, m 为测定不同追肥处理数(此处为 4)。采用相对值标准化公式 $x'(k) = x_i(k) / x_0(k)$,对原始测定数据进行无量纲化处理,消除量纲影响。参照蒋丛泽等^[1]的方法, ρ 取 0.5,计算各参试追肥处理与“理想追肥处理”之间的关联系数($\xi_i(k)$)、绝对离差($\Delta_i(k)$)、权重系数(ω_i)、等权关联度(γ_i)以及加权关联度(γ'_i)。等权关联度在所有性状同等重要下,可评价不同追肥处理的优劣。而权重系数就是根据其重要程度赋予各施肥处理不同的权重系数。根据公式计算出加权关联度。根据关联度大小排序,关联度越大则相似程度越高,比较序列越接近参照序列,说明与理想追肥处理的差异越小,该追肥处理综合评价更优。

$$\xi_i(k) = (\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)) / (\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)) \quad (3)$$

$$\Delta_i(k) = x_0(k) - x_i(k) \quad (4)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (5)$$

$$\omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i} \quad (6)$$

$$\gamma'_i = \sum_{k=1}^n \omega_i(k) \times \xi_i(k) \quad (7)$$

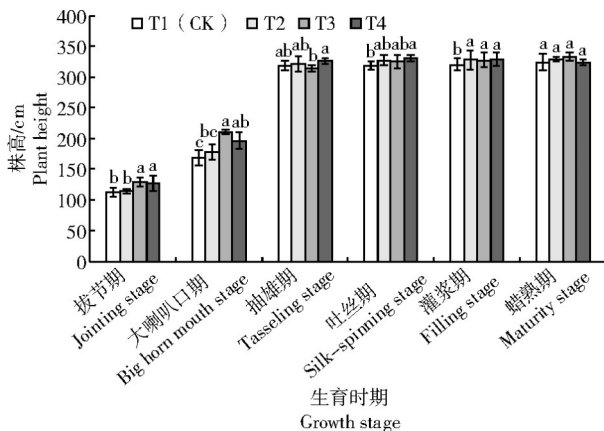
1.5 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2020 进行数据统计及图表绘制。采用 SPSS Statistics 22.0 分析软件对各指标进行统计分析,采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验指标,所有结果均使用“平均数±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同追肥处理对沙区青贮玉米农艺性状的影响

青贮玉米农艺性状对追肥处理的响应如图 1~4 所示,株高随着生育期的推进呈现先迅速增加后趋于稳定并有所下降的总趋势。DJJ23 在抽雄期 T4 处理的株高最高,较 T3 处理显著高 3.99% ($P < 0.05$);蜡熟期时各追肥处理株高介于 323.8~333.0 cm,灌浆期与蜡熟期处理间差异未达显著水平,蜡熟期 T3 处理维持最高株高,较其他处理高 1.31%~2.84%。HY9566 的株高在抽雄期之后 T4 处理出现抑制效应,显著低于其他追肥处理 ($P < 0.05$),蜡熟期 T2 处理高于其他追肥处理 0.76%~4.15%。



不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

Different lowercase letters indicated significant differences among the different treatments at the 0.05 level ($P < 0.05$). The same as below

图 1 DJJ23 各生育期株高比较

Fig.1 Comparison of plant height of DJJ23 in different growth stages

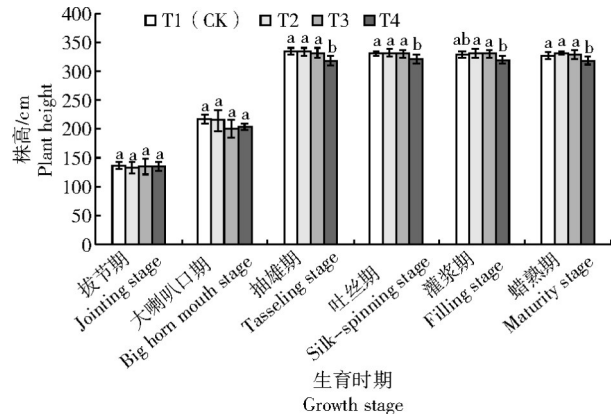


图 2 HY9566 各生育期株高比较

Fig.2 Comparison of plant height of HY9566 in different growth stages

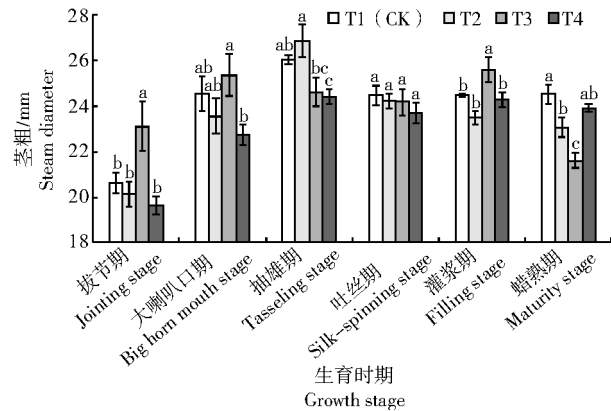


图 3 DJJ23 各生育期茎粗比较

Fig.3 Comparison of stem diameter of DJJ23 in different growth stages

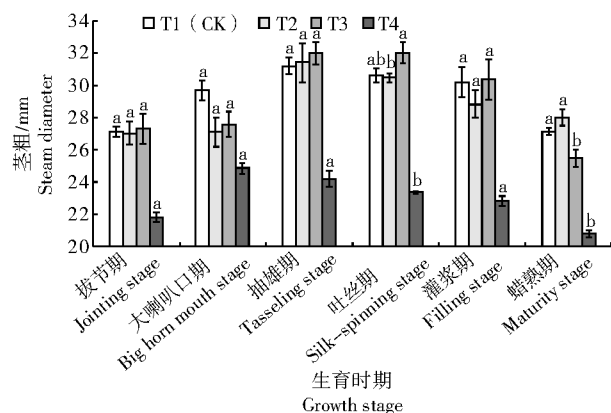


图 4 HY9566 各生育期茎粗比较

Fig.4 Comparison of stem diameter of HY9566 in different growth stages

青贮玉米茎粗在抽雄期至吐丝期时达到最大值。DJJ23 在抽雄期 T2 处理达 26.9 mm, 显著高于 T3、T4 处理 ($P < 0.05$); 在灌浆期转为 T3 处理最

高,且显著高于其他处理($P<0.05$)。HY9566 的茎粗 T4 处理在各生育期均最低,T3 处理在抽雄期、吐丝期与灌浆期均最高。从表 1 可以看出,穗鲜

质量与千粒质量均为 T4 处理最优,HY9566 的千粒质量达 459.6 g,表明 T4 处理对青贮玉米籽粒发育具有显著促进作用。

表 1 不同追肥处理下不同青贮玉米品种的农艺性状比较

Tab.1 Comparison of the agronomic traits of different silage corn varieties under different topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	穗位/cm Ear position	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear thickness	秃尖/mm Bald tip	千粒质量/g 1000-grain weight	穗鲜质量/g Ear fresh weight	倒伏率/% Falling rate
DJJ23	T1(CK)	172.6±5.1a	277.2±7.4a	42.4±2.5a	82.0±6.7a	355.8±10.2c	367.4±29.5c	2.2±0.4bc
	T2	164.3±8.6b	267.6±7.2a	45.6±2.9a	67.2±10.4b	344.8±13.2c	382.6±19.1bc	2.8±0.4ab
	T3	163.5±3.8b	274.0±10.8a	46.0±3.7a	53.2±5.4c	400.2±7.8b	418.0±11.8ab	1.7±0.4c
	T4	162.5±7.6b	270.6±24.5a	45.6±0.5a	49.8±7.9c	435.6±5.0a	447.0±32.1a	2.1±0.6a
HY9566	T1(CK)	165.0±4.1a	244.8±12.0d	47.4±3.4b	30.0±3.2b	421.6±8.5c	386.2±22.9d	3.2±0.5b
	T2	166.3±10.1a	249.8±12.9b	56.0±5.8a	22.4±3.8c	455.4±8.2a	585.4±36.5b	2.1±0.4a
	T3	154.8±12.4ab	247.4±18.4c	50.2±1.3b	34.0±2.8a	436.6±5.5b	538.0±39.1c	2.7±0.4c
	T4	151.4±9.3b	264.0±15.7a	58.6±2.2a	18.4±0.9d	459.6±11.6a	612.2±40.2a	2.2±0.4c

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$)。表 2、3 同。

Note: The lowercase letters in the same column indicated significant differences among the different treatments at the 0.05 level($P<0.05$). The same as Tab.2-3.

2.2 不同追肥处理对沙区青贮玉米叶绿素相对含量的影响

青贮玉米叶绿素相对含量随着生育期的推进呈现先快速增加至灌浆期,后缓慢降低至蜡熟期的变化趋势(图 5)。DJJ23 的 T4 处理在灌浆期的叶绿素相对含量较高,比 T3 处理高 2.69%,T3 处理在吐丝期、蜡熟期的叶绿素相对含量较高,但各处

理间无显著差异。HY9566 的 T2 处理在拔节期与大喇叭口期的叶绿素相对含量较高,但与其他追肥处理无显著差异,T3 处理在抽雄期与吐丝期的叶绿素相对含量较高,抽雄期显著高于其他处理 8.93%~10.94%($P<0.05$),T4 处理在灌浆期与蜡熟期的叶绿素相对含量较高,分别高于 T1 处理 2.93%与 2.36%。

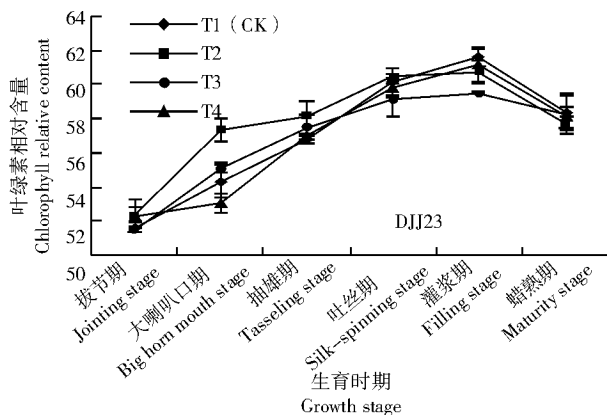


图 5 青贮玉米各生育期叶绿素相对含量比较

Fig.5 Comparison of chlorophyll relative content in different growth stages of silage corn

2.3 不同追肥处理对沙区青贮玉米荧光参数的影响

荧光参数是评价植物光合作用的重要指标,反映了光能的吸收、传递、耗散、分配过程。由图 6、7 可知,青贮玉米 F_o 与 F_m 随着生育期的推进呈现先降低至吐丝期,后增加至蜡熟期的变化趋势。DJJ23 的 F_o 、 F_m 在大喇叭口期其他处理较 T4 处理分别降低 15.34%~32.63% 和 7.96%~26.58%

($P<0.05$),在拔节期、吐丝期 T4 处理均低于其他处理,蜡熟期 F_o 介于 0.64~0.74, F_m 介于 3.16~3.44,各处理间无显著差异;T4 处理的 F_v/F_m 在吐丝期高于其他处理 1.52%~4.82%,在蜡熟期低于其他处理 2.28%~5.89%,均无显著差异; F_v/F_o 呈现与 F_v/F_m 相同的趋势。HY9566 的 T3 处理在拔节期、吐丝期和蜡熟期的 F_o 与 F_m 均维持在

较高水平,其中,在吐丝期 F_o 与 F_m 均显著高于其他追肥处理,增幅分别为 18.52%~28.60% 和 12.46%~26.68% ($P<0.05$)。对于荧光参数 F_v/F_m 与 F_v/F_o ,其变化则因生育期而异;在大喇叭口期, T_3 处理 F_v/F_m 、 F_v/F_o 均显著低于其他追肥处

理,降幅分别为 4.71%~6.78% 和 17.33%~26.78% ($P<0.05$),而在蜡熟期 F_v/F_m 、 F_v/F_o 均表现为 T_3 处理 $> T_2$ 处理 $> T_4$ 处理,且差异均达显著水平 ($P<0.05$)。

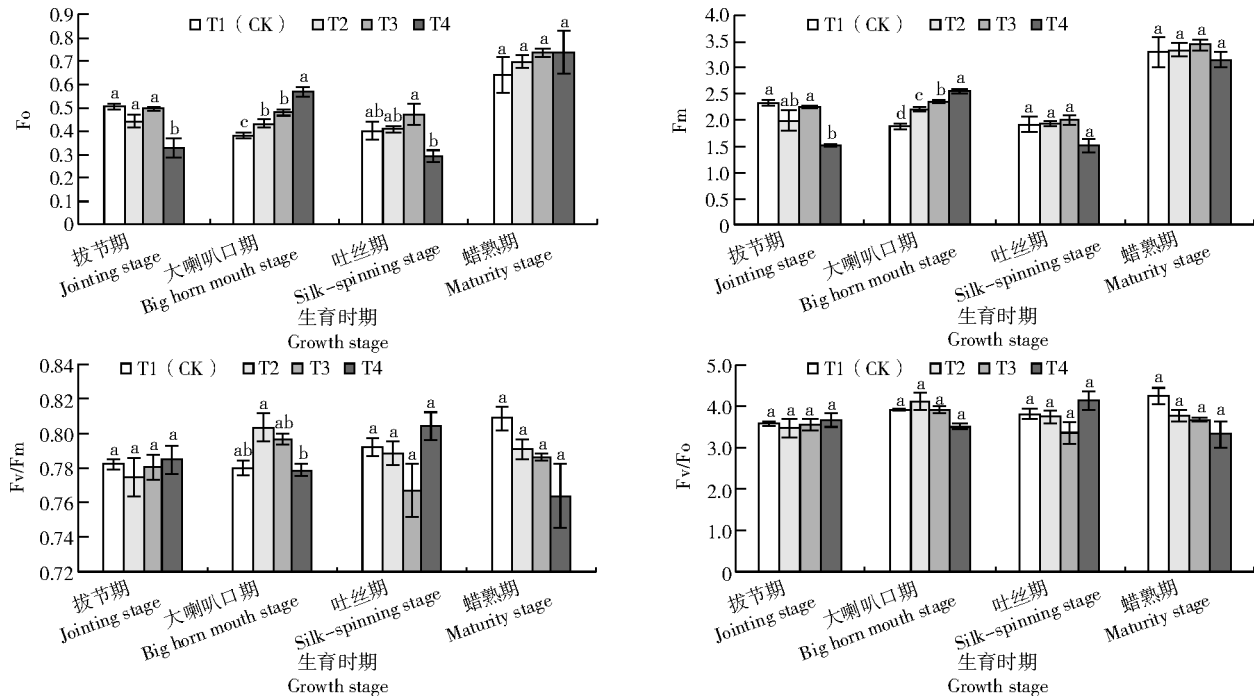


图6 追肥处理对DJJ23 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 及 F_v/F_o 的影响

Fig.6 Effects of topdressing treatments on F_o , F_m , F_v/F_m , and F_v/F_o of DJJ23

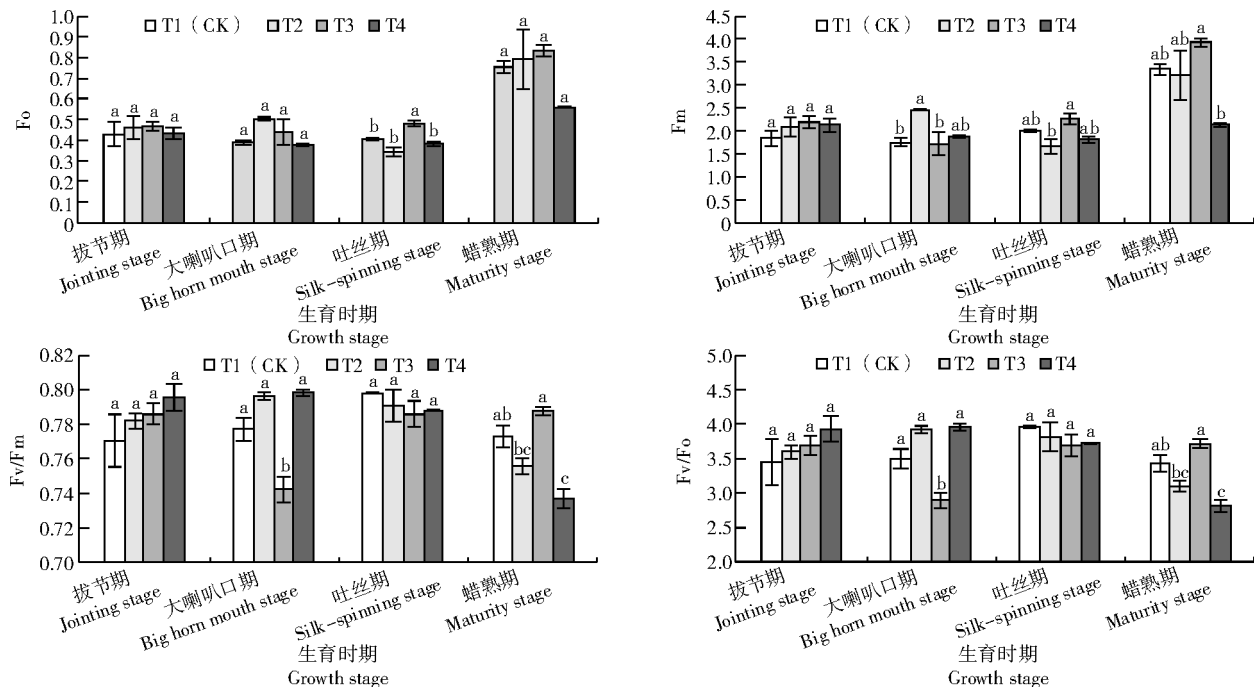


图7 追肥处理对HY9566 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 及 F_v/F_o 的影响

Fig.7 Effects of topdressing treatments on F_o , F_m , F_v/F_m , and F_v/F_o of HY9566

从图 8、9 可以看出, $Y(II)$ 值在大喇叭口期时最低, 之后逐渐增加, 呈现“V”字型趋势。具体而言, DJJ23 品种下, T3 处理于吐丝期 $Y(II)$ 值较高 (0.54), 较 T1 处理显著提升 6.52% ($P < 0.05$), 而拔节期以 T4 处理的 $Y(II)$ 值较高 (0.55), 较 T1 处理显著提高 4.62% ($P < 0.05$)。对于 HY9566 品种, T4 处理在吐丝期与蜡熟期 $Y(II)$ 、 qP 、ETR 值

最高。整体上, NPQ 与 qP 的变化趋势大致相反。至蜡熟期, DJJ23 的 T4 处理的 NPQ 低于其他处理 (降低 2.85%~37.27%), 而其 qP 高于其他追肥处理 (增加 18.24%~32.01%)。此外, 该时期 2 个品种的 ETR 均为 T4 处理最高, 分别为 16.17 (DJJ23) 与 14.70 (HY9566)。

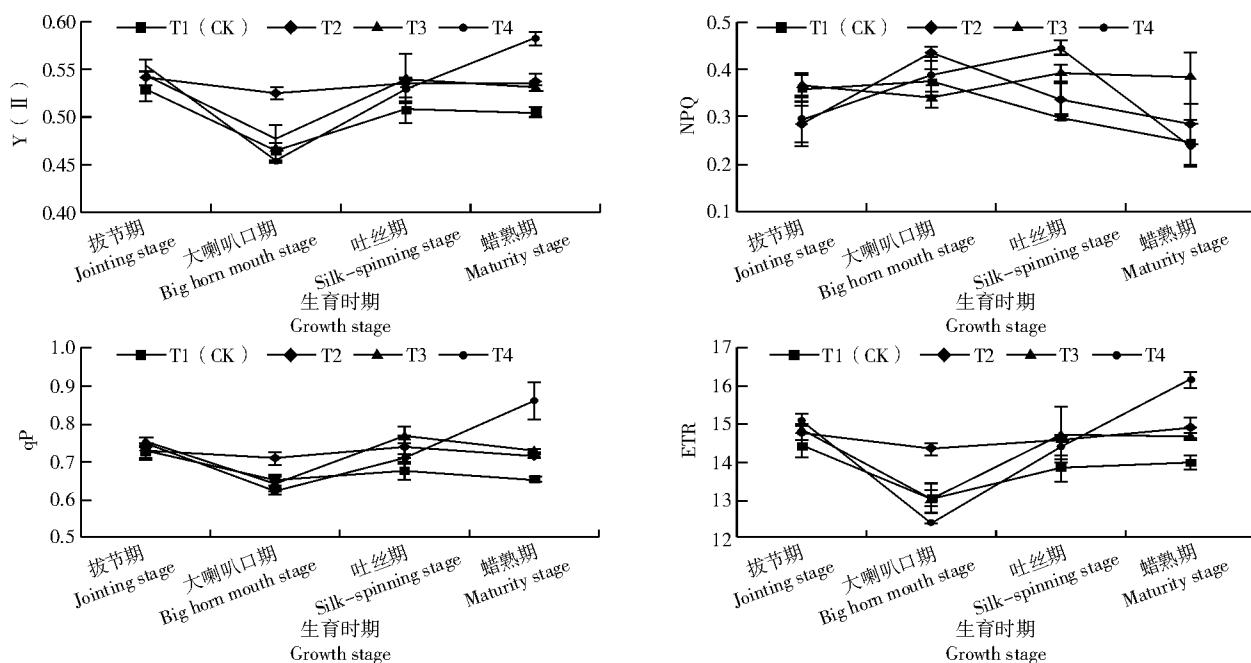


图 8 追肥处理对 DJJ23 的 $Y(II)$ 、NPQ、 qP 及 ETR 的影响

Fig.8 Effects of topdressing treatments on $Y(II)$, NPQ, qP , and ETR of DJJ23

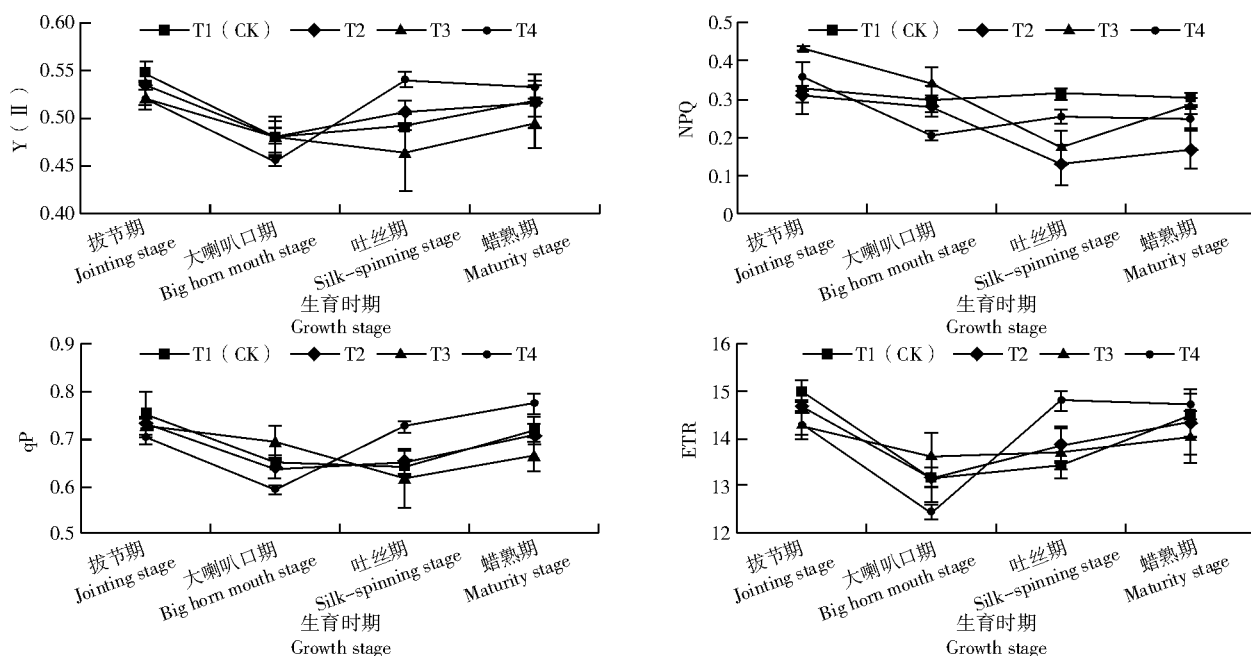


图 9 追肥处理对 HY9566 的 $Y(II)$ 、NPQ、 qP 及 ETR 的影响

Fig.9 Effects of topdressing treatments on $Y(II)$, NPQ, qP , and ETR of HY9566

2.4 不同追肥处理对沙区青贮玉米营养品质的影响

由表2可知,DJJ23的粗蛋白、粗脂肪、淀粉的含量均为T4处理与T3处理较高,T1处理最低,其中,粗蛋白含量介于6.6%~6.8%,粗脂肪含量介于1.9%~2.0%,淀粉含量介于30.4%~31.7%;粗灰分介于4.8%~5.0%,T4处理最低,低于T1处理4.0%;粗纤维含量介于14.8%~16.7%,T2处理显著高于其他处理5.03%~12.83% ($P<0.05$); ADF与NDF分别介于25.6%~26.5%与46.1%~48.2%,最低值均为T4处理,分别低于T1处理

3.03%与2.95%;相对饲喂价值则为 $T4>T3>T1>T2$,T4处理显著高于T2处理5.78% ($P<0.05$)。HY9566的T2处理粗蛋白含量最高、T1处理粗脂肪与粗灰分含量最高,粗灰分含量显著高于其他追肥处理5.36%~28.26% ($P<0.05$);淀粉含量介于31.0%~31.6%,其中T2与T4处理较高,均高于T1处理1.94%,T2处理ADF和NDF含量均最低,分别低于其他追肥处理3.00%~4.58%、0.93%~4.64%,而相对饲喂价值高于其他追肥处理1.79%~5.85%。

表2 不同追肥处理下不同青贮玉米品种的营养品质比较

Tab.2 Comparison of nutritional quality of different silage corn varieties under different topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude fat	淀粉/% Starch	粗灰分/% Coarse ash	粗纤维/% Crude fibre	ADF/%	NDF/%	相对饲喂价值 Relative feeding value
DJJ23	T1(CK)	6.6±0.4a	1.9±0.1b	30.4±1.5a	5.0±0.3a	14.8±0.8b	26.4±0.8a	47.5±0.9ab	134.0±3.6ab
	T2	6.7±0.1a	1.9±0.1b	30.5±0.6a	4.8±0.5a	16.7±0.8a	26.5±0.5a	48.2±0.5a	131.6±1.9b
	T3	6.8±0.1a	1.9±0.1b	31.7±2.9a	4.9±0.2a	15.3±0.6b	25.7±1.1a	46.4±1.2b	138.1±5.2a
	T4	6.8±0.3a	2.0±0.2a	31.4±2.3a	4.8±0.2a	15.9±0.6ab	25.6±1.3a	46.1±1.5b	139.2±6.4a
HY9566	T1(CK)	6.3±0.2a	2.4±0.1a	31.0±0.8a	5.9±0.2a	12.6±0.5b	23.3±0.3a	45.3±0.6a	145.3±2.0a
	T2	6.6±0.4a	2.2±0.1ab	31.6±1.8a	4.6±0.2d	13.0±0.5a	22.9±2.2a	43.2±3.3a	153.8±15.0a
	T3	6.4±0.2a	2.3±0.2ab	31.5±1.4a	5.6±0.2b	13.8±0.8a	24.0±0.5a	44.9±1.1a	145.6±4.0a
	T4	6.4±0.4a	2.1±0.1b	31.6±0.8a	5.3±0.3c	12.7±0.7a	23.3±0.7a	43.6±1.1a	151.1±4.9a

2.5 不同追肥处理对沙区青贮玉米产量的影响

从表3可以看出,DJJ23的鲜草、干草与籽粒产量分别介于90.67~106.26、29.97~36.66、19.68~23.28 t/hm²,极差分别为15.59、6.69、3.6 t/hm²,鲜草产量与干草产量的最高值均为T3处理,较高值为T4处理,最低值为T1处理;籽粒产量最高值为T4处理,比T1处理高18.29%,较高值为T3处理,T4、T3处理显著高于T1、T2处理($P<0.05$);干鲜

比T3处理最高,T4处理最低,各追肥处理无显著差异。HY9566的鲜草、干草与籽粒产量分别介于115.55~137.09、41.61~49.57、20.34~32.69 t/hm²,极差分别为21.54、7.96、12.35 t/hm²,鲜草与干草产量的最高值均为T2处理,较高值为T3处理,籽粒产量最高值为T4处理,T2处理较高,表明追肥显著提高了青贮玉米产量,干鲜比T4处理最高,各追肥处理间无显著差异。

表3 不同追肥处理下不同青贮玉米品种的产量比较

Tab.3 Comparison of yield of different silage corn varieties under different topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	鲜草产量/(t/hm ²) Fresh grass yield	干草产量/(t/hm ²) Dry grass yield	籽粒产量/(t/hm ²) Grain yield	干鲜比 Dry to fresh ratio
DJJ23	T1(CK)	90.67±1.78c	29.97±2.32c	19.68±1.85b	0.33±0.03a
	T2	97.08±2.92bc	32.93±2.68b	20.13±1.58b	0.34±0.02a
	T3	106.26±2.87a	36.66±0.90a	22.91±0.65a	0.35±0.02a
	T4	105.08±3.44ab	33.47±1.34b	23.28±1.75a	0.32±0.03a
HY9566	T1(CK)	115.55±4.29b	41.61±3.63b	20.34±1.02b	0.36±0.03a
	T2	137.09±4.50a	49.57±3.55a	30.88±1.04a	0.36±0.04a
	T3	135.61±3.80a	49.08±3.28a	28.54±1.93b	0.36±0.04a
	T4	127.86±4.58ab	47.76±3.34a	32.69±1.71a	0.38±0.03a

2.6 综合性评价

2.6.1 数据的标准化处理 将 4 个追肥处理的 16 个性状视为一个整体,运用灰色关联度法综合评价。16 个指标分别为株高(k1)、茎粗(k2)、穗鲜质量(k3)、穗长(k4)、秃尖长(k5)、千粒质量(k6)、叶绿素(k7)、籽粒产量(k8)、ETR(k9)、干草产量

(k10)、粗蛋白(k11)、淀粉(k12)、粗脂肪(k13)、粗灰分(k14)、粗纤维(k15)、相对饲喂价值(k16)。为保证各性状要素具有等效与同序性,粗灰分、粗纤维选取最小值,其他选取最大值构建理想追肥处理 $x_0(k)$ (表 4)。不同追肥处理各指标无量纲化后的结果如表 5 所示。

表 4 不同青贮玉米追肥处理下各指标的理想值和测定值

Tab.4 Ideal and measured values of various indicators under different silage corn topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16
DJJ23	x_0	333.0	24.5	447.0	277.2	82.0	435.6	58.4	23.3	16.2	36.7	6.8	31.7	2.0	5.0	14.8	138.1
	T1(CK)	323.8	24.5	367.4	277.2	82.0	355.8	58.4	19.7	14.0	30.0	6.6	30.4	1.9	5.0	14.8	134.0
	T2	328.7	23.1	382.6	267.6	67.2	344.8	57.7	20.1	14.9	32.9	6.7	30.5	1.9	5.0	16.7	131.6
	T3	333.0	21.6	418.0	274.0	53.2	400.2	58.3	22.9	14.7	36.7	6.8	31.7	1.9	5.1	15.3	138.1
	T4	324.0	23.9	447.0	270.6	49.8	435.6	58.1	23.3	16.2	33.5	6.8	31.4	2.0	5.0	15.9	137.1
HY9566	x_0	331.5	28.0	612.2	264.0	34.0	459.6	59.5	32.7	14.7	49.6	6.6	31.6	2.4	4.6	12.6	153.8
	T1(CK)	326.7	27.1	386.2	244.8	30.0	421.6	58.1	20.3	14.5	41.6	6.3	31.0	2.4	5.9	12.6	145.1
	T2	331.5	28.0	585.4	249.8	22.4	455.4	57.7	30.9	14.3	49.6	6.6	31.6	2.2	4.6	13.0	153.8
	T3	329.0	25.6	537.8	247.4	34.0	436.6	58.4	25.5	14.0	49.1	6.4	31.5	2.3	5.6	13.8	145.6
	T4	318.3	25.8	612.2	264.0	18.4	459.6	59.5	32.7	14.7	47.8	6.4	31.6	2.2	5.3	12.7	151.1

表 5 不同青贮玉米追肥处理下各测定指标无量纲化

Tab.5 Non dimensionalization of various measurement indicators under different silage corn topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16
DJJ23	T1(CK)	0.972	1.000	0.822	1.000	1.000	0.817	1.000	0.845	0.866	0.818	0.967	0.960	0.910	1.000	1.000	0.970
	T2	0.987	0.941	0.856	0.965	0.820	0.792	0.989	0.865	0.922	0.898	0.983	0.964	0.913	0.989	0.887	0.953
	T3	1.000	0.881	0.935	0.988	0.649	0.919	0.998	0.984	0.907	1.000	1.000	1.000	0.924	0.967	0.970	1.000
	T4	0.973	0.975	1.000	0.976	0.607	1.000	0.995	1.000	1.000	0.913	0.999	0.991	1.000	0.985	0.933	0.993
HY9566	T1(CK)	0.985	0.969	0.631	0.927	0.882	0.917	0.977	0.622	0.984	0.839	0.958	0.980	1.000	1.268	1.000	0.943
	T2	1.000	1.000	0.956	0.946	0.659	0.991	0.969	0.945	0.975	1.000	1.000	0.998	0.946	1.000	0.966	1.000
	T3	0.992	0.914	0.878	0.937	1.000	0.950	0.982	0.781	0.955	0.990	0.978	0.996	0.975	0.822	0.913	0.946
	T4	0.960	0.921	1.000	1.000	0.541	1.000	1.000	1.000	1.000	0.963	0.970	1.000	0.916	0.881	0.986	0.982

2.6.2 关联系数、关联度和权重系数 由于供试的青贮玉米追肥与各性状指标理想值的关联度系数较多,存在指标离散化特征,于是将施肥处理或性状的关联度系数记为标准值,称为关联度。关联度越大,说明该追肥处理与标准追肥处理的性状的相似度越高。根据关联度的大小及排序,筛选并评价青贮玉米各追肥处理的优劣。

在实际生产中,青贮玉米各性状特征值的重要性具有显著差异,因此,根据重要程度给予不同的权重系数。根据公式计算得出结果如表 6 所示,

DJJ23 各个指标在评价系统中所占权重排名前 5 的为叶绿素、粗蛋白、粗灰分、株高、穗长, HY9566 排名前 5 的为淀粉、株高、ETR、粗蛋白、叶绿素。根据公式计算加权关联度大小,反映供试追肥处理与最优指标的差异大小,关联度大表明与最优指标的差距小,反之则差距大。加权关联度如表 7 所示,各处理等权关联度与加权关联度排序一致,综合排名最优为 DJJ23 的 T4 处理(等权关联度为 0.920,加权关联度为 0.930)与 HY9566 的 T2 处理(等权关联度为 0.913,加权关联度为 0.924),较优

为DJJ23的T3处理(等权关联度为0.883,加权关联度为0.897)与HY9566的T4处理(等权关联度为0.897,加权关联度为0.908)。

表6 不同青贮玉米追肥处理各指标关联系数及权重系数

Tab.6 Correlation coefficient and weight coefficient of various indicators under different silage corn topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16
DJJ23	T1(CK)	0.926	1.000	0.639	1.000	1.000	0.627	1.000	0.676	0.707	0.635	0.913	0.895	0.784	1.000	1.000	0.920
	T2	0.964	0.848	0.687	0.908	0.598	0.596	0.968	0.705	0.805	0.757	0.954	0.905	0.791	0.969	0.743	0.880
	T3	1.000	0.736	0.830	0.967	0.433	0.791	0.995	0.953	0.777	1.000	1.000	1.000	0.811	0.911	0.923	1.000
	T4	0.927	0.931	1.000	0.935	0.406	1.000	0.985	1.000	1.000	0.785	0.997	0.975	1.000	0.958	0.838	0.979
	ω_i	0.069	0.063	0.057	0.068	0.044	0.054	0.071	0.060	0.059	0.057	0.069	0.068	0.061	0.069	0.063	0.068
HY9566	T1(CK)	0.959	0.916	0.451	0.821	0.696	0.803	0.937	0.436	0.956	0.674	0.891	0.946	1.000	0.601	1.000	0.856
	T2	1.000	1.000	0.874	0.861	0.441	0.974	0.918	0.841	0.932	1.000	1.000	0.995	0.861	1.000	0.912	1.000
	T3	0.979	0.794	0.714	0.841	1.000	0.871	0.949	0.572	0.883	0.971	0.939	0.989	0.931	0.651	0.792	0.863
	T4	0.897	0.809	1.000	1.000	0.370	1.000	1.000	1.000	1.000	0.901	0.919	1.000	0.799	0.749	0.962	0.950
	ω_i	0.069	0.063	0.055	0.063	0.045	0.066	0.068	0.051	0.068	0.064	0.067	0.071	0.065	0.054	0.066	0.066

表7 不同青贮玉米追肥处理关联度及排序

Tab.7 Correlation and ranking of different silage corn topdressing treatments

品种 Variety	处理 Treatment	等权关联度 Grey correlation		加权关联度 Weighted grey correlation	
		值 Value	排序 Order	值 Value	排序 Order
DJJ23	T1(CK)	0.858	3	0.865	3
	T2	0.817	4	0.830	4
	T3	0.883	2	0.897	2
	T4	0.920	1	0.930	1
HY9566	T1(CK)	0.809	4	0.825	4
	T2	0.913	1	0.924	1
	T3	0.859	3	0.865	3
	T4	0.897	2	0.908	2

3 结论与讨论

3.1 追肥对农艺性状及产量的影响

追肥影响青贮玉米产量,合理的追肥配方对青贮玉米产业与粮食安全至关重要。本研究通过对比2个青贮玉米品种的4种追肥模式下的表现,证实科学追肥是提高青贮玉米产量及品质的关键技术路线^[8]。区域比较分析显示,榆林风沙区鲜草产量(90.67~137.09 t/hm²)与甘肃永登^[12](92.9~102.4 t/hm²)高产区间重叠,其干草产量(29.97~49.57 t/hm²)较宁夏固原^[13](21.4~31.5 t/hm²)最高产量提升57.37%,这可能得益于沙区昼夜温差大,促进了光合作用,进而提高了干物质产物积累。DJJ23在T3处理下,鲜草与干草产量分别较其

他处理提高1.12%~17.19%与9.53%~22.33%;其T4处理的籽粒产量提升1.62%~18.37%,其高产由于株高与穗鲜质量的协同增长,印证了生物干质量与株高、穗位高呈极显著正相关^[14]。HY9566在T2处理的鲜草与干草产量较对照分别增加1.09%~18.64%与3.79%~19.14%,显示该品种对有机肥更具敏感性。株高在拔节期(112.3~133.2 cm)和大喇叭口期(169.2~215.2 cm)快速生长,抽雄期(>300 cm)稳定并呈缓慢下降趋势,生长模式与刘娇娇等^[15]研究结论相吻合。DJJ23在大喇叭口期对复合肥响应迅速,较T2处理提高15.41%,在抽雄期对有机肥后效显著,T4处理较T3处理株高提升了4.15%,证实了有机复合肥配施的协同增效机制^[8]。本研究中,DJJ23的T3处理

在蜡熟期时茎粗降幅达 8%,与刘娇娇等^[15]的研究结论存在差异。本试验中,株高、穗位越高,越容易倒伏,这与张宇等^[16]的研究结论相一致。DJJ23 的 T3 处理与 HY9566 的 T2 处理的倒伏率低,抗倒伏能力强,其产量较倒伏严重处理分别提升 9.47% 与 20.37%,这与许莹莹等^[17]的研究结论相一致。

3.2 追肥对叶绿素相对含量及荧光参数的影响

叶绿素相对含量作为光合效率的重要表征指标^[18]。本试验中,DJJ23 在蜡熟期 T3 处理的叶绿素相对含量达 58.3,对应的鲜草、干草产量较对照分别提升 17.19%、22.32%,表明该品种生殖生长阶段对复合肥的持续性响应可有效维持光合能力;而 HY9566 T4 处理的叶绿素相对含量在灌浆期及蜡熟期持续高值,籽粒产量也呈最高值,表明该品种通过优化碳氮代谢平衡延缓叶片衰老。本研究中,DJJ23 在大喇叭口期至吐丝期 F_o 值下降 18.27%,表明追肥初期存在 PS II 反应中心可逆性受损,能量捕获效率降低,能量耗散增加^[19]。在蜡熟期 DJJ23 与 HY9566 的初始荧光 F_o 追肥处理与对照相比均无显著差异,印证了赵丽英等^[20]提出的“在一定程度上施肥对光合作用的影响并不明显”。高 F_v/F_m 为光能分配优化提供能量保障,非环境胁迫条件下该参数极少变化,其敏感性体现在光抑制发生时显著下降^[21]。本研究中,DJJ23 与 HY9566 的 F_v/F_m 分别稳定在 0.764~0.809 与 0.737~0.798 范围内,表明试验条件下未出现严重光抑制。 F_v/F_o 表征的 PS II 潜在活性^[22],在吐丝期达最高值,与 F_v/F_m 呈现相同趋势。叶片 $Y(II)$ 作为光能捕获效率的核心指标,本研究中, $Y(II)$ 值在大喇叭口期时下降至 0.45,这与追肥后植株增长迅速,叶片水分亏损严重,气孔导度与光合活性下降,导致光合作用代谢受抑有关^[21],该阶段需要精准追肥缓解;至吐丝期回升至 0.54,蜡熟期维持 0.56,这与肥料消耗减少有关,有利于光合作用的进行,这与张雷明等^[23]的研究结论相一致。本试验中,光化学淬灭系数(qP)在大喇叭口期下降 16.90%,反映 PS II 反应中心间的电子流动受阻^[24]。在蜡熟期时 qP 增大,证实了 QA^- 重新氧化形成 QA 的量愈大,PS II 的电子传递活性就越大^[25]。DJJ23 的非光化学淬灭系数(NPQ)在大喇叭口期提高 18.15%,表明该时期耗散过剩的激发能来保护光合机构,缓解环境对光合作用的影响^[20]。本试验中 DJJ23 的 T3 处理在吐丝期与 T4

处理在蜡熟期 ETR 动态变化值较高,分别为 14.73、16.17,与最终干物质产量呈极显著正相关。

3.3 追肥对青贮玉米营养品质的影响

优良的饲草营养品质与产量同等重要,青贮玉米的营养品质评价的主要指标有粗蛋白、粗脂肪、淀粉、粗灰分、NDF 和 ADF 等关键参数^[26]。本试验中,DJJ23 T3 处理与 HY9566 T2 处理的粗蛋白含量分别达 6.8% 和 6.6%,虽高于其他处理,但均未达到饲用玉米行业标准($\geq 7\%$)。本研究中,全株淀粉含量($\geq 25\%$)达行业标准,粗灰分含量处于适宜区间^[27]。本试验中,T3 处理与 T4 处理的青贮玉米达二级标准($NDF \leq 50\%$, $ADF \leq 26\%$),T1 处理与 T2 处理的青贮玉米达三级标准($NDF \leq 55\%$, $ADF \leq 29\%$)。张宁等^[28]研究中提到,玉米秸秆的消化率低,青贮可以提高其营养价值。本试验中,NDF 超过 50% 时,干物质采食量呈指数下降,ADF 突破 26% 则导致消化率线性降低^[29],鉴于这一机制,本试验中 T3 处理适口性显著优于 T1 处理,便得到了内在的解释。

3.4 不同追肥处理下的综合性评价

青贮玉米不同追肥处理间农艺性状、产量及营养品质间存在显著差异^[30],印证了传统单因子评价体系存在系统性偏差^[31]。灰色关联度分析法克服了单一性状的片面性,通过多维度指标整合,构建涵盖农艺性状、营养品质及产量的多维评价体系,其评价结果客观性已在水稻、小麦等作物中得到验证,为风沙区青贮玉米精准追肥提供了可靠的评估工具。本研究中,权重靠前的指标有叶绿素、粗蛋白、粗灰分、株高、穗长、粗淀粉、ETR,这与张书兴等^[32]在北方农牧交错带的研究结果不同,反映沙区特殊光温条件强化了光合性能指标的权重。DJJ23 在 T3 处理产量较高,T4 处理实现品质最优,印证了产量与品质呈负相关^[15]。HY9566 在 T2 处理达成双优协同,产量与品质均较好。大京九 23 对有机肥响应滞后,致其综合效益受限,但通过与复合肥互补,实现产量品质协同提升。禾玉 9566 具备较强的有机肥吸收与分解能力,促进玉米产量提升及品质优化。

综上,大京九 23 对有机复合肥配施具有显著适配性,而禾玉 9566 则表现出对有机肥的独特响应优势。本研究揭示了追肥对榆林风沙区青贮玉米产量及品质的影响,通过综合评价体系为青贮玉米的追肥方案提供了新的理论基础。由于本研

究为当年试验数据结果,关于不同追肥处理对榆林风沙区青贮玉米生产性能与营养品质的影响仍需进行多年连续观测研究,以便推荐出较为真实的追肥配方。

参考文献:

- [1] 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[J]. 草业学报, 2023, 32(7): 216-228.
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 [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(7): 216-228.
- [2] HRISTOV A N, HARPER M T, ROTH G, et al. Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and *in vivo* digestibility[J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(3): 2333-2346.
- [3] FERRARETTO L F, SHAVER R D, LUCK B D. Silage review: recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(5): 3937-3951.
- [4] 吕全云. 全株玉米青贮饲料在沂水县养牛业的推广应用分析[J]. 中国乳业, 2025(1): 30-35.
LÜ Q Y. Popularization and application of whole corn silage in cattle raising in Yishui county[J]. China Dairy, 2025(1): 30-35.
- [5] BASIT A, KHALIQ A, PERVEZ A, et al. Assessment of maize genotypes for forage yield and quality[J]. Journal of Plant Breeding and Genetics, 2018, 6(1): 9-14.
- [6] LIU Y E, XIE R Z, HOU P, et al. Phenological responses of maize to changes in environment when grown at different latitudes in China[J]. Field Crops Research, 2013, 144: 192-199.
- [7] 程红玉, 汤振东, 雷玉明, 等. 有机肥替代部分化肥对青贮玉米产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 草地学报, 2025, 33(5): 1702-1712.
CHENG H Y, TANG Z D, LEI Y M, et al. Effects of organic fertilizer partially substituting chemical fertilizer on yield, quality and soil fertility of silage maize[J]. Acta Agrestia Sinica, 2025, 33(5): 1702-1712.
- [8] 肖兴中, 孙迷平, 赵玉玲, 等. 追施有机肥或复合肥对夏玉米产量及部分相关性状的影响[J]. 农业科技通讯, 2022(9): 31-33.
XIAO X Z, SUN M P, ZHAO Y L, et al. Effects of top dressing organic fertilizer or compound fertilizer on yield and some related traits of summer maize[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(9): 31-33.
- [9] 张文芝. 玉米果穗率与青贮饲料品质的关系[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
ZHANG W Z. Effects of the rate of ear to whole plant on silage quality in maize[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [10] 张正, 杨睿, 董春林, 等. 玉米表现性状的相关性分析[J]. 山西农业科学, 2020, 48(12): 1883-1886.
ZHANG Z, YANG R, DONG C L, et al. Correlation analysis of apparent traits in maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(12): 1883-1886.
- [11] 谢业春, 江巍. 播期、种植密度及追肥对渝青青贮1号的综合影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(1): 42-46.
XIE Y C, JIANG W. Comprehensive effects of sowing date, planting density and topdressing on silage maize Yuqingqing-zhu 1[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(1): 42-46.
- [12] 王瑛, 苏亚军, 吴建平, 等. 品种和种植密度对青贮玉米营养品质的影响[J]. 家畜生态学报, 2023, 44(7): 55-63.
WANG Y, SU Y J, WU J P, et al. Effects of variety and planting density on the nutritional quality of silage maize[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2023, 44(7): 55-63.
- [13] 李升航. 青贮玉米氮密互作增产及混贮品质提升技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
LI S H. Research on yield increase and mixed silage quality improvement technology of silage maize with nitrogen and density intercropping[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2023.
- [14] 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[J]. 草业学报, 2024, 33(3): 120-138.
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[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2024, 33(3): 120-138.
- [15] 刘娇娇, 张培培, 纪晓玲, 等. 陕北农牧交错区不同青贮玉米品种生产性能与营养品质综合分析[J]. 草业科学, 2025, 42(6): 1507-1517.
LIU J J, ZHANG P P, JI X L, et al. Comprehensive analysis of performance and nutritional quality of different silage maize varieties in the farming-pastoral ecotone of northern Shaanxi [J]. Pratacultural Science, 2025, 42(6): 1507-1517.
- [16] 张宇, 王晓春, 马晓霞. 宁夏引黄灌区9个青贮玉米品种比较[J]. 现代畜牧科技, 2023(11): 68-70.
ZHANG Y, WANG X C, MA X X. Comparison of 9 silage maize varieties in Ningxia yellow diversion irrigation area[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2023(11): 68-70.
- [17] 许莹莹, 马青美, 宋希云, 等. 不同玉米品种倒伏抗性 with 产量相关性状的聚类和相关分析[J]. 玉米科学, 2019, 27(5): 15-21.
XU Y Y, MA Q M, SONG X Y, et al. Cluster and correlation analysis of lodging-resistance and yield related traits in different maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 15-21.
- [18] 丁月强. 不同配置模式对青贮型玉米 || 大豆复合体产量和品质的影响[D]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2024.
DING Y Q. Effects of different configuration modes on yield and quality of silage maize || soybean complex[D]. Tongliao: Inner Mongolia University for the Nationalities, 2024.
- [19] 尤鑫, 龚吉蕊, 安然, 等. 4种杂交杨荧光光响应曲线[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2011, 47(1): 85-90.
YOU X, GONG J R, AN R, et al. Fluorescence response curves of four hybrid poplar species[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science Edition), 2011, 47(1): 85-90.

- [20] 赵丽英,邓西平,山仑.不同水分处理下冬小麦旗叶叶绿素荧光参数的变化研究[J].中国生态农业学报,2007,15(1):63-66.
- ZHAO L Y, DENG X P, SHAN L. Effects of altered water condition on some chlorophyll fluorescence parameters of flag leaves of winter wheat[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 63-66.
- [21] 解婷婷,苏培玺,丁松爽.黑河中游边缘绿洲不同水分条件对青贮玉米叶片光合特性及产量的影响[J].西北农业学报,2009,18(6):127-133.
- XIE T T, SU P X, DING S S. Effect of different water conditions on photosynthetic characteristics of silage maize in marginal oasis regions of middle reach of Heihe River Basin[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2009, 18(6): 127-133.
- [22] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学通报,1999,34(4):444-448.
- ZHANG S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 34(4): 444-448.
- [23] 张雷明,上官周平,毛明策,等.长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响[J].应用生态学报,2003,14(5):695-698.
- ZHANG L M, SHANGGUAN Z P, MAO M C, et al. Effects of long term application of nitrogen fertilizer on leaf chlorophyll fluorescence of upland winter wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 695-698.
- [24] 史胜青,袁玉欣,杨敏生,等.水分胁迫对4种苗木叶绿素荧光的光化学淬灭和非光化学淬灭的影响[J].林业科学,2004,40(1):168-173.
- SHI S Q, YUAN Y X, YANG M S, et al. Effects of water stress on photochemical quenching and non-photochemical quenching of chlorophyll a fluorescence in four tree seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(1): 168-173.
- [25] 王策,王志强,张志伟,等.补灌量对夏玉米光合和叶绿素荧光特性的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):99-106.
- WANG C, WANG Z Q, ZHANG Z W, et al. Effects of complementary irrigation on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in summer maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(6): 99-106.
- [26] 刘子翀.榆阳沙区青贮玉米品种筛选及综合评价[D].榆林:榆林学院,2023.
- LIU Z H. Selection and comprehensive evaluation of silage corn varieties in the sandy area of Yuyang[D]. Yulin: Yulin University, 2023.
- [27] 张小功,王永明,李瑜,等.南疆地区不同青贮玉米生产性能及营养品质综合评价分析[J].农业与技术,2022,42(17):1-5.
- ZHANG X G, WANG Y M, LI Y, et al. Comprehensive evaluation and analysis of production performance and nutritional quality of different silage maize in southern Xinjiang[J]. Agriculture and Technology, 2022, 42(17): 1-5.
- [28] 张宁,任志强,杨慧珍,等.山西省玉米生产现状及其提质增效措施探讨[J].山西农业科学,2020,48(10):1683-1685.
- ZHANG N, REN Z Q, YANG H Z, et al. Analysis of the current situation of maize production in Shanxi province and its measures for improving quality and efficiency[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(10): 1683-1685.
- [29] 范晓庆,赵心月,王钰文,等.青贮玉米和饲用油菜间作对饲草作物产量和品质的影响[J].河南农业科学,2023,52(7):40-51.
- FAN X Q, ZHAO X Y, WANG Y W, et al. Effect of intercropping of silage corn and forage rape on forage crop yield and quality[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(7): 40-51.
- [30] 赵伟伟,马祥,张然,等.青海东部农区高产优质燕麦品种筛选[J].草业科学,2020,37(3):532-541.
- ZHAO Y W, MA X, ZHANG R, et al. Selection of high-yield and good-quality oat varieties in the eastern agricultural area of Qinghai province[J]. Pratacultural Science, 2020, 37(3): 532-541.
- [31] 陈燕华,李经成,李荣丹,等.基于灰色关联度分析法综合评价24个绿豆新品种(系)在桂南地区的田间性状表现[J].南方农业学报,2020,51(11):2644-2652.
- CHEN Y H, LI J C, LI R D, et al. Comprehensive evaluation of field traits for 24 new varieties (lines) of mung bean based on grey correlation analysis in southern Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(11): 2644-2652.
- [32] 张书兴,王筱,马琳,等.农牧交错带青贮玉米生产性能和饲草品质综合评价[J].草地学报,2022,30(6):1517-1524.
- ZHANG S X, WANG X, MA L, et al. Comprehensive evaluation of performance and forage quality of silage maize in farming-pastoral ecotone[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(6): 1517-1524.