

播期和施肥量对陇东地区2种饲用燕麦生产性能和营养品质的影响

王亚士^{1,3}, 曹宏^{2,4*}, 柴守玺^{1,3**}, 李茜^{2,4}, 彭正凯^{2,4}, 张述强^{2,4}

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 陇东学院农林科技学院, 甘肃 庆阳 745000;

3. 干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 4. 陇东旱地作物种质改良及

产业化协同创新中心, 甘肃 庆阳 745000)

摘要:【目的】探讨陇东地区播期和施肥量对饲用燕麦生产性能和营养品质的影响。【方法】选择早熟燕麦品种边锋和中熟品种梦龙为材料, 设早播(4月8日)、中播(4月18日)和晚播(4月28日)3个播期, 低施肥量(N 45.75 kg/hm²+P₂O₅ 31.50 kg/hm²)、中施肥量(N 91.50 kg/hm²+P₂O₅ 63.00 kg/hm²)和高施肥量(N 137.25 kg/hm²+P₂O₅ 94.50 kg/hm²)3个施肥量, 研究不同播期和施肥量下燕麦草产量及营养品质的变化。【结果】1) 2个品种的株高、穗长、小穗数和草产量都随着播期推迟逐渐降低。2) 2个品种的粗蛋白含量随着播期推迟和施肥量增加逐渐增加, 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量则逐渐降低。3) 在播期和施肥量交互作用下, 边锋以早播低施肥量的干草产量最高(6 500 kg/hm²), 梦龙以早播高施肥量的干草产量最高(6 506.7 kg/hm²)。【结论】在陇东地区以收获饲草为目的的燕麦生产上, 不同熟性的品种都以4月上旬播种为宜, 其中, 早熟品种边锋施肥量以N 45.75 kg/hm²、P₂O₅ 31.50 kg/hm²较好, 中熟品种梦龙以N 137.25 kg/hm²、P₂O₅ 94.50 kg/hm²较好。

关键词: 燕麦; 播期; 施肥; 草产量; 营养价值; 陇东地区

中图分类号: S512.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)02-0075-10

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2023.02.009



燕麦(*Avena sativa*)是禾本科(Gramineae)燕麦属(*Avena*)一年生粮饲兼用作物^[1-2], 其中, 皮燕麦籽粒被广泛应用于精饲料, 而全株多用于青贮鲜草和调制青干草, 具有适口性好、能量丰富、品质优良、抗逆性强等优点^[3-6], 是牛羊等反刍家畜的优质饲料。近年来, 随着我国“粮改饲”工作的推进, 青贮玉米、燕麦等饲料作物种植面积逐年增加^[7], 特别是在北方农牧交

错地带, 燕麦有望成为干旱、贫瘠、盐碱等障碍土地种植和耕地休闲季覆盖的有效作物^[8]。甘肃省属于牧草种植大省之一, 2018年以苜蓿、燕麦为主的商品草的种植面积达到21.9万hm², 已成为全国产量最大、最集中的商品苜蓿和燕麦产区^[9]。陇东地区是甘肃省牧草种植和家畜养殖的传统区域, 目前已经形成以青贮玉米、苜蓿、燕麦为主的草畜一体化产业。近年来, 饲用燕麦的种植面积逐年扩大, 2020年底, 燕麦种植面积达1万hm², 已发展为以合作社和大型草业公司为主的规模化机械化生产, 具有较大的栽培潜力^[10-13]。

目前, 针对播期和施肥量对饲用燕麦生产性能的影响已开展了较多研究, 并取得了重要进展。前人研究表明^[14-16], 播期和施肥量对燕麦株高、分蘖、草产量和种子产量均有显著影响, 播期早晚对种子产量和草产量的影响不同, 但氮、磷肥则在一定范围内可以增加草产量。然而, 截止目前在陇东地区饲用燕麦种植

收稿日期: 2022-05-09; **修回日期:** 2022-05-30

基金项目: 甘肃省科技支撑计划(1604NKCM054); 甘肃省软科学专项(21CX6ZM106); 庆阳市科技支撑计划项目(QY2021A-N002)

作者简介: 王亚士(1996-), 女, 内蒙古锡林郭勒人, 硕士研究生。E-mail: 1928636167@qq.com

*通信作者。E-mail: caoh207@163.com

**通信作者。E-mail: sxchai@126.com

的最佳播期、施肥量尚未见报道。因此,本研究选择2个不同熟性的燕麦品种作为试验材料,研究不同播期 and 不同氮磷混合施肥量对燕麦草产量及营养品质的影响,以期为陇东地区饲用燕麦科学种植及其产业化提供技术指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省庆阳市西峰区陇东学院试验农场,属于黄土高原陇东干旱半干旱气候区,该地海拔1 421 m,年日照总数2 400~2 600 h,年无霜期160~180 d,年降水量480~660 mm,降雨多集中在7~9月,年平均气温7~10℃。土壤为黑垆土,前茬作物为紫花苜蓿(*Medicago sativa*)。试验地土壤有机质含量为11.38 g/kg,全氮含量0.87 g/kg,全磷含量0.93 g/kg,速效氮含量26.56 mg/kg,速效磷含量19.21 mg/kg,速效钾含量139.03 mg/kg。2021年试验期间水热状况如图1所示。

表1 供试燕麦品种信息

Table 1 The information of oat varieties in the experiment

品种	千粒重/g	净度/%	发芽率/%	生育期/d	来源
边锋	34.25	99.62%	78%	95	郑州华丰种业有限公司
梦龙	31.99	99.25%	99%	104	西安百绿草业有限公司

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,每个品种按2因素3水平设计共9个处理,其中播期分为早播(4月8日, S_1)、中播(4月18日, S_2)和晚播(4月28日, S_3),施肥量分为低施肥量150 kg/hm²(N 45.75 kg/hm²+P₂O₅ 31.50 kg/hm², F_1)、中施肥量300 kg/hm²(N 91.50 kg/hm²+P₂O₅ 63.00 kg/hm², F_2)和高施肥量450 kg/hm²(N 137.25 kg/hm²+P₂O₅ 94.50 kg/hm², F_3),每个处理为1小区,3次重复,共54个小区,小区面积为15 m²(5 m×3 m),行距为20 cm。播前精细整地,人工开沟按行施肥。理论播种量为15 g/m²,实际播种量按各品种种子发芽率和种子净度计算,人工条播。

1.4 测量项目及方法

1.4.1 出苗率和物候期 播种后20 d,每小区中间三行调查出苗数,计算出苗率。参考刘庆龙^[17]的方法,记载燕麦的出苗期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、

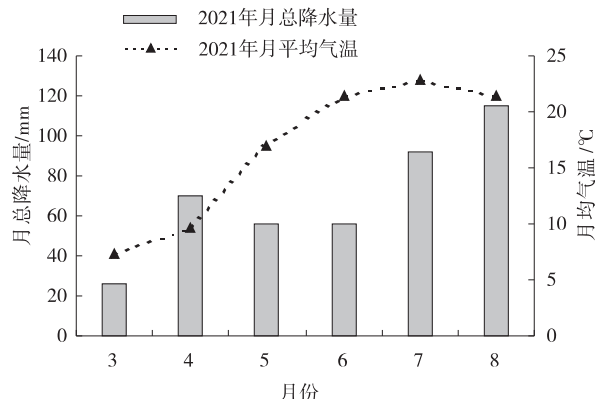


图1 试验区2021年月平均气温、月总降水量

Fig. 1 The monthly mean air temperature and monthly total precipitation of the test area in 2021

1.2 试验材料

在前期燕麦品种试验和梁万鹏^[13]试验的基础上,选择早熟燕麦品种边锋和中熟品种梦龙作为试验材料,品种信息(表中数值均为本试验实测值)及来源见表1。肥料为磷酸二铵(含N 15%,P₂O₅ 42%)和尿素(含N 46%),分别购自云南祥丰化肥股份有限公司和中国石油天然气股份有限公司宁夏石化分公司。

开花期、灌浆期、成熟期,并计算从播种期到成熟期的生长天数。鉴别标准:当每个小区50%植株达到某一生育阶段即为达到该生育时期,其中成熟期为茎秆变黄并且80%以上籽粒变黄、变硬的日期。

1.4.2 生长速度和株高 苗期每小区中间3行,随机选10株挂牌,每7 d测株高,求平均值,生长速度为相邻两次株高的差与间隔天数之比。灌浆期测产时的株高为最终株高。

1.4.3 单株分蘖数 分蘖期每小区中间3行随机选5株,调查统计单株分蘖总数,求平均值。

1.4.4 草产量、鲜干比和茎叶比 灌浆期每小区中间3行选1 m²植株,齐地刈割称取鲜草产量,然后将鲜样置于105℃条件下杀青30 min,65℃烘干至恒重后,称取干草产量,并计算鲜干比(鲜草产量/干草产量)。另取鲜样500 g,将茎叶分开称取鲜重,烘干至恒重后称其干重,计算其茎叶比(茎干重/叶干重)。

1.4.5 营养成分与饲喂价值:将烘干后的样品粉碎备用,参照鲁如坤的方法^[18],粗蛋白(Crude protein, CP)含量采用凯氏定氮法(GB/T6432-94);中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)含量采用范式纤维分析法。

相对饲喂价值(Relative feed value, RFV)计算公式^[19]:

$$DDM(\%DM) = 88.9 - 0.779 \times ADF(\%DM)$$

$$DMI(\%BW) = \frac{120}{NDF(\%DM)}$$

$$RFV = DMI(\%BW) \times \frac{DDM(\%DM)}{1.29}$$

式中:DDM为可消化干物质,用占干物质(DM)的百分比表示;DMI为干物质采食量,用占体重(BW)的百分比表示。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2019 进行数据整理和制图,采用 SPSS 25.0 软件对数据统计方差分析。

2 结果与分析

2.1 播期和施肥量对饲用燕麦物候期的影响

试验表明(表 2),不同熟性饲用燕麦的物候期差异主要是由播种期差异所导致,即同一播期下不同施肥量处理间的物候期基本一致。但随着播期的推迟,2 个品种在拔节后生育进程都逐渐加快,其中,早熟品种边锋不同播期下的成熟期分别为 7 月 14 日、7 月 16 日和 7 月 22 日;中熟品种梦龙不同播期下的成熟期分别为 7 月 20 日、7 月 23 日和 7 月 29 日。与 S₁相比,S₂和 S₃进入成熟期所需天数缩短 6~11 d。最终边锋的生长天数为 84~95 d,梦龙的生长天数为 91~101 d。

表 2 播期和施肥量对燕麦物候期的影响

Table 2 Effects of sowing date and fertilizer amount on the phenophase of oat

品种	播期	施肥量	物候期(月—日)								生长
			出苗	分蘖	拔节	孕穗	抽穗	开花	灌浆	成熟	天数/d
边锋	S ₁	F ₁	04—20	05—13	05—25	06—11	06—18	06—23	06—29	07—14	96
		F ₂	04—20	05—13	05—25	06—11	06—18	06—23	06—29	07—13	95
		F ₃	04—20	05—13	05—25	06—11	06—18	06—23	06—29	07—13	95
	S ₂	F ₁	05—01	05—18	05—28	06—14	06—21	06—27	07—03	07—16	88
		F ₂	05—01	05—18	05—28	06—11	06—21	06—27	07—03	07—17	89
		F ₃	05—01	05—18	05—25	06—11	06—21	06—27	07—03	07—16	88
	S ₃	F ₁	05—11	05—28	06—06	06—23	06—28	04—07	07—10	07—22	84
		F ₂	05—11	05—28	06—06	06—23	06—28	04—07	07—10	07—22	84
		F ₃	05—11	05—28	06—06	06—23	06—28	04—07	07—10	07—22	84
梦龙	S ₁	F ₁	04—20	05—13	05—25	06—15	06—22	06—28	07—02	07—20	102
		F ₂	04—20	05—13	05—25	06—15	06—22	06—28	07—02	07—19	101
		F ₃	04—20	05—13	05—25	06—15	06—22	06—28	07—02	07—19	101
	S ₂	F ₁	05—01	05—18	05—28	06—18	06—26	07—02	07—07	07—23	95
		F ₂	05—01	05—18	05—28	06—18	06—26	07—02	07—07	07—22	94
		F ₃	05—01	05—18	05—28	06—18	06—26	07—02	07—07	07—22	94
	S ₃	F ₁	05—11	05—28	06—06	06—27	07—05	07—10	07—16	07—29	91
		F ₂	05—11	05—28	06—06	06—27	07—05	07—10	07—16	07—29	91
		F ₃	05—11	05—28	06—06	06—27	07—05	07—10	07—16	07—29	91

2.2 播期和施肥量对饲用燕麦生产性能的影响

2.2.1 播期和施肥量对饲用燕麦出苗率的影响 试验表明(表 3),播期和品种与播期互作对燕麦的出苗率都有显著影响($P < 0.05$)。2 个品种的出苗率随着播期的推迟逐渐降低,S₁比 S₂、S₃分别高了 21.9% 和 29.9%。在品种和播期互作下(表 4),边锋以 S₁F₂最

高(83.00%),梦龙以 S₁F₃最高(94.10%)。

2.2.2 播期和施肥量对饲用燕麦生长速度的影响 试验表明,播期和施肥量及两者互作对燕麦生长速度均有显著性影响($P < 0.05$),总体看,拔节后各处理的生长速度都在逐渐增加,以抽穗期最快。在播期和施肥量互作下(图 2),2 个品种都以抽穗期最快,其中边

表3 品种、播期和施肥量交互作用下燕麦出苗率的方差分析
Table 3 The variance analysis of emergence rate of oat under interaction of variety, sowing date and fertilizer amount

项目	df	出苗率
品种	1	0.85
播期S	2	3.85 [*]
施肥量F	2	0.05
品种×播期	2	3.30 [*]
品种×施肥量	2	0.19
播期×施肥量	4	0.56
品种×播期×施肥量	4	0.04

注:*, $P < 0.05$

表4 品种和播期互作对燕麦出苗率的影响
Table 4 Effects of sowing date and fertilizer amount on the emergence rate of oat

品种	播期	施肥量	出苗率/%
边锋	S ₁	F ₁	81.90±0.04 ^a
		F ₂	83.00±0.03 ^a
		F ₃	82.80±0.05 ^a
	S ₂	F ₁	68.40±0.04 ^b
		F ₂	66.90±0.07 ^b
		F ₃	67.90±0.09 ^b
	S ₃	F ₁	62.40±0.04 ^b
		F ₂	65.00±0.05 ^b
		F ₃	63.30±0.02 ^b
梦龙	S ₁	F ₁	93.70±0.03 ^a
		F ₂	92.80±0.04 ^a
		F ₃	94.10±0.03 ^a
	S ₂	F ₁	70.20±0.04 ^b
		F ₂	69.00±0.03 ^b
		F ₃	71.00±0.01 ^b
	S ₃	F ₁	66.50±0.11 ^b
		F ₂	67.70±0.03 ^b
		F ₃	67.30±0.02 ^b

注:不同小写字母表示相同品种不同处理在0.05水平差异显著($P < 0.05$);下同

锋以S₁F₁最快(2.29 cm/d),除S₂F₂外显著高于其他处理($P < 0.05$);梦龙以S₂F₁最快(2.73 cm/d),除S₂F₂、S₂F₃外显著高于其他处理($P < 0.05$)。

2.2.3 播期和施肥量对饲用燕麦株高的影响 从表5可知,播期对燕麦株高有显著性影响($P < 0.05$),播期与施肥互作有极显著性影响($P < 0.01$)。随着播期的推迟2个品种的株高都在逐渐降低,其中边锋以S₂最高,比S₃高6.3%,梦龙以S₁最高,比S₂、S₃分别高1.5%和10.7%。播期和施肥量互作下(表6),边锋以

S₂F₂株高最高(85.49 cm),除S₁F₁、S₃F₃外极显著高于其他处理($P < 0.01$);梦龙以S₁F₁株高最高(87.01 cm),极显著高于其他处理($P < 0.01$)。

2.2.4 播期和施肥量对饲用燕麦鲜干比和茎叶比的影响 对鲜干比来讲(表5),播期及播期与施肥互作对2个品种有显著影响。2个品种的鲜干比都以S₁最高,比S₂、S₃高6.0%~17.8%。在播期和施肥量互作下(表6),边锋以S₁F₁最高(3.03),除S₁F₂外显著高于其他处理($P < 0.05$);梦龙以S₁F₂最高(3.38),除S₁F₃外显著高于其他处理($P < 0.05$)。

对茎叶比来讲,施肥量及播期与施肥互作对2个品种有显著影响。不同施肥量中,边锋以F₂最低,比F₁低17.7%;梦龙以F₃最低,比F₁、F₂分别低8.2%和6.9%。在播期和施肥量互作下(表6),边锋以S₁F₂最低(0.40),并显著低于其他处理($P < 0.05$);梦龙以S₂F₃的最低(0.59),并显著低于S₁F₁、S₁F₂、S₂F₁、S₃F₃($P < 0.05$)。

2.2.5 播期和施肥量对饲用燕麦产量因子的影响 从表5—6可知,对单株分蘖数来看,品种、播期、施肥量及互作对2个品种无显著影响。对小穗数来看,播期和施肥量及两者互作对2个品种有显著影响($P < 0.05$)。2个品种基本都是S₂>S₃>S₁。施肥量都以F₁最多,比F₂、F₃高3.2%~9.8%,在播期和施肥量互作下,都以S₂F₁最多,并显著高于其他处理($P < 0.05$),其中边锋小穗数为44.87个,梦龙小穗数为33.27个。

对穗长来看,播期和施肥量对2个品种有显著影响($P < 0.05$),两者互作有极显著影响($P < 0.01$)。不同播期中,2个品种基本都是S₂>S₃>S₁;不同施肥量中,都以F₁最长,比F₂长4.4%。在播期和施肥量互作下,边锋以S₂F₁穗长最长(20.03 cm),并极显著高于其他处理($P < 0.01$);梦龙以S₂F₁穗长最长(18.40 cm),除S₃F₁外极显著高于其他处理($P < 0.01$)。

2.2.6 播期和施肥量对饲用燕麦草产量的影响 从表7可知,播期及播期与施肥的互作对产草量有显著影响($P < 0.05$),其中鲜草产量达到极显著水平($P < 0.01$),干草产量达到显著水平($P < 0.05$)。不同播期中,2个燕麦品种的草产量都以S₁最高,比S₂、S₃高4.6%~20.1%。在播期和施肥量互作下(表8),边锋以S₁F₁草产量最高,鲜草产量为19 616.70 kg/hm²,干

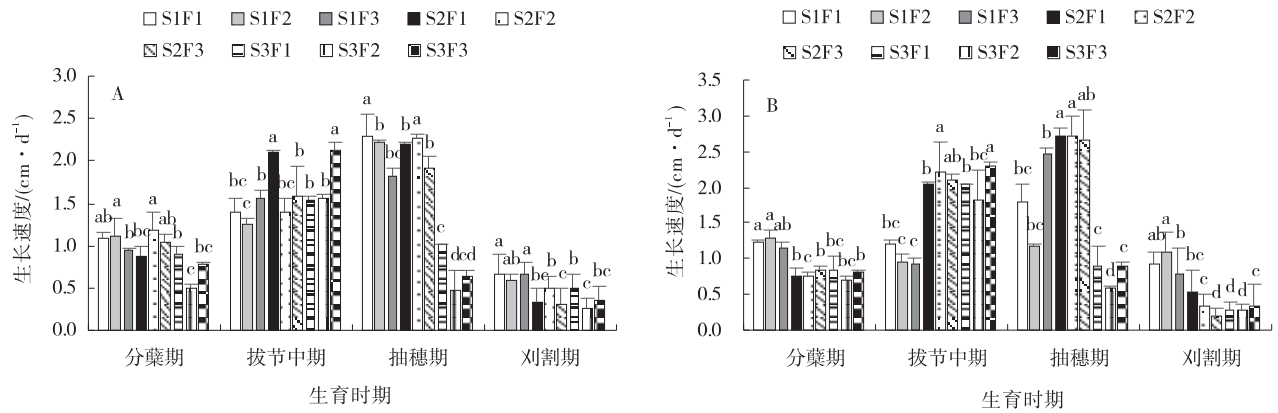


图 2 播期和施肥量对燕麦边锋(A)和梦龙(B)生长速度的影响

Fig. 2 Effects of sowing date and fertilizer amount on the growth rate of oat 'Bianfeng' (A) and 'Menglong' (B)

注:不同小写字母表示同一物候期下不同处理在 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$)

表 5 品种、播期和施肥量交互作用下燕麦主要农艺性状的方差分析

Table 5 The variance analysis of main agronomic traits of oat under interaction of variety, sowing date and fertilizer amount

项目	df	株高	鲜干比	茎叶比	分蘖	穗长	小穗数
品种	1	0.61	1.03	0.42	0.08	0.97	1.19
播期 S	2	3.25*	7.24*	0.68	1.81	3.50*	7.84*
施肥量 F	2	1.81	0.22	6.83*	1.33	5.74*	3.93*
品种×播期	2	0.55	1.43	0.78	0.95	1.41	0.58
品种×施肥量	2	1.99	0.16	1.74	0.11	0.42	1.93
播期×施肥量	4	58.95**	3.67*	4.18*	0.15	202.68**	3.21*
品种×播期×施肥量	4	1.25	0.58	0.77	1.05	2.30	0.77

注:*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$ 。

表 6 播期和施肥量对燕麦主要农艺性状的影响

Table 6 Effects of sowing date and fertilizer amount on main agronomic traits of oat

品种	播期	施肥量	株高/cm	鲜干比	茎叶比	单株分蘖数/个	穗长/cm	小穗数/个
边锋	S ₁	F ₁	80.40±1.48 ^{AB}	3.03±0.20 ^a	0.67±0.17 ^a	2.97±0.55 ^a	18.07±1.86 ^B	35.73±8.44 ^{bc}
		F ₂	78.52±3.00 ^B	3.01±0.10 ^a	0.40±0.09 ^d	3.33±0.35 ^a	16.60±1.22 ^{CD}	35.13±1.33 ^{bc}
		F ₃	78.49±2.10 ^B	2.96±0.28 ^b	0.57±0.05 ^c	3.40±0.36 ^a	15.65±1.20 ^D	33.47±2.14 ^c
	S ₂	F ₁	79.52±2.12 ^B	2.78±0.01 ^b	0.58±0.07 ^b	3.27±0.81 ^a	20.03±1.72 ^A	44.87±13.41 ^a
		F ₂	85.49±5.45 ^A	2.76±0.10 ^b	0.56±0.03 ^c	3.10±0.66 ^a	18.67±1.10 ^B	24.07±7.15 ^e
		F ₃	75.07±2.66 ^{BC}	2.80±0.10 ^b	0.51±0.09 ^c	2.60±0.35 ^a	15.14±0.91 ^D	34.60±0.72 ^c
	S ₃	F ₁	74.39±5.60 ^{BC}	2.85±0.11 ^b	0.61±0.05 ^b	2.73±1.10 ^a	18.73±1.10 ^B	40.90±7.98 ^b
		F ₂	70.87±2.35 ^C	2.68±0.11 ^c	0.58±0.04 ^b	2.13±0.42 ^a	17.57±0.60 ^{BC}	30.00±7.98 ^d
		F ₃	80.46±5.24 ^{AB}	2.97±0.26 ^b	0.51±0.07 ^c	2.93±1.17 ^a	15.20±0.96 ^D	34.10±1.82 ^c
梦龙	S ₁	F ₁	87.01±1.13 ^A	2.94±0.22 ^b	0.81±0.08 ^a	3.13±0.67 ^a	17.50±0.95 ^B	24.80±1.40 ^d
		F ₂	80.43±0.79 ^C	3.38±0.29 ^a	0.74±0.04 ^b	3.17±1.01 ^a	15.73±0.85 ^D	21.67±9.58 ^c
		F ₃	85.05±5.02 ^B	3.23±0.04 ^a	0.72±0.09 ^{bc}	3.17±1.01 ^a	14.29±0.61 ^E	31.13±4.7 ^b
	S ₂	F ₁	84.7±4.54 ^B	2.78±0.17 ^{bc}	0.74±0.01 ^b	3.20±0.72 ^a	18.40±0.72 ^A	33.27±2.39 ^a
		F ₂	82.27±3.18 ^{BC}	2.85±0.05 ^b	0.71±0.07 ^{bc}	3.07±0.78 ^a	16.20±0.95 ^C	22.33±6.82 ^{de}
		F ₃	81.83±3.82 ^{BC}	2.85±0.08 ^b	0.59±0.05 ^c	3.60±0.20 ^a	15.43±1.50 ^{DE}	26.80±4.34 ^c
	S ₃	F ₁	75.96±2.33 ^{CD}	2.61±0.07 ^c	0.64±0.08 ^{bc}	2.33±0.77 ^a	17.83±0.85 ^{AB}	29.07±2.20 ^{bc}
		F ₂	73.48±1.79 ^D	2.76±0.01 ^{bc}	0.70±0.08 ^{bc}	2.87±0.31 ^a	15.93±0.12 ^{CD}	22.03±3.73 ^{de}
		F ₃	78.72±3.71 ^{CD}	2.73±0.07 ^{bc}	0.75±0.02 ^b	2.27±0.61 ^a	15.00±1.00 ^{DE}	28.90±1.01 ^{bc}

注:不同大小写字母表示相同品种不同处理在 0.01 水平 ($P < 0.01$) 和 0.05 水平 ($P < 0.05$) 上差异显著,下同

表7 品种、播期和施肥量交互作用下燕麦草产量的方差分析
Table 7 The variance analysis of yield of oat under interaction of variety, sowing date and fertilizer amount

项目	<i>df</i>	鲜草	干草
品种	1	0.02	0.49
播期S	2	6.78*	4.74*
施肥量F	2	0.48	0.14
品种×播期	2	2.05	0.03
品种×施肥量	2	0.61	2.94
播期×施肥量	4	20.62**	5.07*
品种×播期×施肥量	4	0.85	0.89

草产量为6 500.0 kg/hm²,除S₁F₂外显著高于其他处理($P<0.05$),比最低处理S₂F₁分别显著提高了38.1%和27.5%;梦龙以S₁F₃草产量最高,鲜草产量为21 016.70 kg/hm²,干草产量为6 506.70 kg/hm²,并显著高于其他处理($P<0.05$),比最低处理S₂F₂分别显著提高了52.1%和34.2%。

2.3 播期和施肥量对饲用燕麦营养品质的影响

2.3.1 播期和施肥量对饲用燕麦粗蛋白含量的影响 从表9可知,播期和施肥量对2个品种粗蛋白含

量均有显著影响($P<0.05$)。不同播期中,2个燕麦品种的粗蛋白都以S₃最高,比S₁分别高23.4%和15.0%;不同施肥量中,2个燕麦品种的粗蛋白都以F₃最高,比F₁分别高15.0%和31.4%。在播期和施肥量互作下(表10),2个品种都以S₃F₃粗蛋白含量最高,边锋为12.04%,比最低处理S₁F₂显著提高39.5%,梦龙为10.85%,比最低处理S₁F₁显著提高49.7%,且都显著高于其他处理($P<0.01$)。

2.3.2 播期和施肥量对饲用燕麦ADF和NDF含量的影响 从表9—10可知,播期及播期与施肥的互作对2个品种的酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量均有显著影响($P<0.05$)。不同播期中,边锋ADF和NDF含量以S₁最低,并显著低于其他处理($P<0.05$);梦龙ADF含量以S₃最低,NDF含量以S₁最低。在播期和施肥量互作下,边锋的NDF和ADF含量都以S₁F₁最低,分别为31.21%和53.52%,除S₃F₂的NDF含量外,显著低于其他处理($P<0.05$)。梦龙的NDF和ADF含量都以S₁F₂最低,分别为32.23%和56.59%,除S₃F₁的NDF含量、S₁F₃的

表8 播期和施肥量对燕麦草产量的影响
Table 8 Effects of sowing date and fertilizer amount on yield of oat

品种	播期	施肥量	鲜草产量/(kg·hm ⁻²)	干草产量/(kg·hm ⁻²)
边锋	S ₁	F ₁	19 616.70±4 073.04 ^A	6 500.00±766.91 ^a
		F ₂	19 050.00±4 017.51 ^A	6 350.00±712.85 ^a
		F ₃	17 483.30±4 168.67 ^B	5 950.00±680.96 ^b
	S ₂	F ₁	14 200.00±2 697.83 ^C	5 100.00±1 159.18 ^c
		F ₂	14 200.00±3 315.95 ^C	5 133.30±433.76 ^c
		F ₃	16 183.30±4 045.51 ^{BC}	5 783.30±101.84 ^{bc}
	S ₃	F ₁	15 416.70±2 300.71 ^{BC}	5 416.70±335.55 ^{bc}
		F ₂	13 433.30±4 860.82 ^D	5 050.00±1 289.85 ^d
		F ₃	15 266.70±3 957.10 ^{BC}	5 166.70±870.08 ^c
梦龙	S ₁	F ₁	18 116.70±4 369.76 ^B	6 183.30±342.11 ^b
		F ₂	17 600.00±3 871.47 ^{BC}	5 216.70±305.51 ^{bc}
		F ₃	21 016.70±7 627.52 ^A	6 506.70±529.15 ^a
	S ₂	F ₁	14 300.00±1 924.48 ^{CD}	5 166.70±577.35 ^c
		F ₂	13 816.70±3 414.40 ^D	4 850.00±390.63 ^d
		F ₃	16 150.00±4 466.33 ^{BC}	5 666.70±300.62 ^b
	S ₃	F ₁	16 016.70±2 558.74 ^{BC}	6 146.70±1 166.83 ^b
		F ₂	15 250.00±4 452.57 ^C	5 516.70±1 200.62 ^{bc}
		F ₃	14 866.70±2 252.72 ^C	5 446.70±269.43 ^{bc}

ADF 含量外,显著低于其他处理($P<0.05$)。

2.3.1 播期和施肥量对饲用燕麦相对饲喂价值的影响 从表 9 可知,播期及播期与施肥的互作对 2 个品种的相对饲喂价值(RFV)有显著影响($P<0.05$)。不同播期中,2 个品种 RFV 均以 S_1 最高。在播期和施肥量互作下(表 10),边锋 RFV 以 S_1F_1 最高(113.06),梦龙以 S_1F_2 最高(105.04),且显著高于其他处理($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 播期和施肥量对生产性能的影响

播种期是影响植物生产的重要栽培措施之一,播种过早、过晚均不利于燕麦种子的发芽及晚期的生长发育,而与播期有关的温度、水分等气候因子是影响燕麦生育期的重要因子^[20-22]。燕麦种子发芽最低温度为 3~4℃,最适温度为 15~25℃,生长期最适温度为 20~25℃^[9,23],为此春播时为保证墒情多采用“顶凌早播”^[24]。陇东地区春季常低温干旱,很容易发生春

表 9 品种、播期和施肥量交互作用下燕麦营养品质的方差分析

Table 9 The variance analysis of nutrient indexes of oat under interaction of variety, sowing date and fertilizer amount

项目	df	粗蛋白	中性洗 涤纤维	酸性洗 涤纤维	饲喂 价值
品种	1	1.55	0.56	0.54	0.74
播期 S	2	5.53*	3.56*	3.47*	5.47*
施肥量 F	2	4.36.*	1.54	2.56	0.46
品种×播期	2	0.35	1.68	0.74	1.55
品种×施肥量	2	2.47	1.78	0.46	0.64
播期×施肥量	4	4.87**	5.80*	3.74*	4.57*
品种×播期×施肥量	4	0.36	0.24	0.90	1.46

旱和伏旱现象^[10-12]。本研究表明,同一施肥量下随着播期的推迟,2 个燕麦品种的生育期都在缩短,其出苗率、株高、小穗数、鲜干比和草产量都是早播的最高,这一结论与吴娜等^[25]在吉林白城的研究结果一致,与

表 10 播期和施肥量对饲用燕麦营养指标的影响

Table 10 Effects of sowing date and fertilizer amount on nutrient indexes of oat

品种	播期	施肥量	粗蛋白/%	酸性洗涤纤/%	中性洗涤纤维/%	相对饲喂价值
边锋	S_1	F_1	8.81±8.23 ^{DE}	31.21±2.04 ^c	53.52±4.87 ^d	113.06±13.21 ^a
		F_2	8.63±7.99 ^E	32.92±2.00 ^b	57.01±1.50 ^c	103.26±3.64 ^b
		F_3	10.09±6.41 ^{CD}	32.64±0.83 ^b	57.42±1.85 ^c	102.90±3.60 ^b
	S_2	F_1	10.39±16.93 ^C	34.43±2.27 ^{ab}	59.98±0.98 ^a	96.33±4.27 ^c
		F_2	11.20±5.17 ^{BC}	34.84±0.65 ^a	59.45±0.22 ^{ab}	96.64±0.79 ^c
		F_3	11.73±3.43 ^B	34.58±1.50 ^{ab}	60.17±3.47 ^a	96.07±7.20 ^c
	S_3	F_1	10.26±9.18 ^{BCD}	32.89±0.79 ^b	58.51±1.66 ^b	100.68±3.74 ^{bc}
		F_2	11.70±7.04 ^B	31.61±0.26 ^{bc}	57.39±1.53 ^c	104.23±2.74 ^{bc}
		F_3	12.04±4.98 ^A	32.83±2.25 ^b	58.97±0.80 ^b	99.92±4.00 ^{bc}
梦龙	S_1	F_1	7.25±11.76 ^E	33.88±2.49 ^b	57.26±1.88 ^b	101.69±0.55 ^b
		F_2	7.80±14.34 ^{DE}	32.23±1.77 ^c	56.59±2.65 ^c	105.04±0.26 ^a
		F_3	9.49±6.78 ^C	34.05±2.44 ^{ab}	56.97±0.75 ^{bc}	101.89±1.55 ^b
	S_2	F_1	7.61±9.39 ^D	33.94±1.15 ^b	57.72±1.58 ^b	100.73±0.74 ^{bc}
		F_2	9.65±2.50 ^{BC}	34.42±1.83 ^a	58.92±3.11 ^a	98.25±6.72 ^c
		F_3	10.54±10.99 ^B	33.58±0.11 ^b	57.63±1.45 ^b	101.32±0.42 ^{bc}
	S_3	F_1	8.67±5.55 ^D	33.19±1.10 ^{bc}	57.66±2.00 ^b	101.81±0.34 ^b
		F_2	9.03±11.23 ^{CD}	33.26±2.07 ^b	57.14±0.50 ^b	102.55±0.60 ^b
		F_3	10.85±6.63 ^A	33.68±2.24 ^b	57.38±1.86 ^b	101.68±0.31 ^b

马雪琴等^[14]在高寒牧区研究结果不同,是因为两地气温和降水差异较大,陇东地区年均气温高,降水分布不均,试验当年4月降雨较少,4月8日早播温度低,播种后又及时降雨,使得土壤墒情好,满足了种子萌发的适宜条件,因此比4月28日晚播出苗率高;晚播由于出苗期温度较高(14.9℃),蒸发量相对较大,在生产上表现为生育期缩短,出苗率低;同时在灌浆期(7月份),早播降水量比晚播多21 mm,有利于燕麦吸收养分增加产量。最终表现为2个燕麦品种的4月8日早播比4月28日晚播草产量提高了20%以上。

施肥也是影响燕麦单株分蘖率、茎叶比和草产量的重要因素。饲草的茎叶比越低,表明叶量越丰富、营养物质含量越高,其适口性越好^[26-29]。本研究表明,播期和施肥量对2个品种的单株分蘖数都没有显著的影响,但茎叶比在同一播期下随着施肥量的增加而逐渐降低,这与马雪琴^[14]在高寒牧区的试验结论基本一致。而施肥对草产量的影响则因品种而异,其中早熟品种边锋以低施肥量草产量最高,中熟品种梦龙以高施肥量最高,这与刘华^[30]的研究结果基本一致。这是因为中熟品种生育期相对较长、株高较高,从孕穗期开始时间延长,生长速度加快,需要更多的氮肥供穗部性状和产量的形成,因此需要获取更多的养分,到达成熟时所需要的肥料也就更多。但晚播时,中熟品种梦龙的草产量随着施肥量的增加增产效果不显著,对此还需要进一步研究。

综上所述,在播期和施肥量交互作用下,早熟品种边锋以早播、低施肥量组合草产量最高,中熟品种梦龙早播、高施肥量组合草产量最高。

3.2 播期和施肥量对营养价值的影响

粗蛋白是评价牧草饲用价值的重要指标,粗蛋白含量高,其饲用价值也就高^[31]。本研究表明,播期、施肥量以及播期与施肥的互作对2个燕麦品种粗蛋白含量均有显著或极显著性影响。在同一播期下,都是高施肥量>中施肥量>低施肥量,在同一施肥量下,都是晚播>中播>早播,在播期和施肥量互作下,都以晚播和高施肥量处理的粗蛋白含量最高。总体上看,春季种植时,随播期推后和施肥量的增加,其粗蛋白含量都呈逐渐增高的趋势,这与周磊^[32]、Duda M^[34]等试验结果一致。氮肥可以促进燕麦生长、延缓叶片的枯萎,增加粗蛋白含量。磷肥则能促进根系的发育,

改善品质。本试验中氮磷混合高施肥量粗蛋白含量比低施肥量都提高15%以上,与王丽学^[33]等试验结果相似,较高的氮磷水平给燕麦提供了充足的养分,而氮磷是构成粗蛋白的必须元素,进而对燕麦的品质有一定的改善作用。

中性洗涤纤维含量越高,牧草适口性就越差;酸性洗涤纤维含量越高,木质化程度就越高,家畜对牧草的消化率降低^[35]。本研究表明,播期和施肥量互作条件下,早熟品种边锋2种纤维含量都以早播和低施肥量的处理最低,但中熟品种梦龙是以早播和中施肥量的处理最低。这说明在当地燕麦种植中,随着播期的推迟和施肥量的增加,虽然饲草的蛋白质含量会有所提高,但同时却增加了中性和酸性洗涤纤维含量,会导致燕麦适口性下降,这与周磊^[32]研究结果相似。因此,在陇东地区目前以高产为主兼顾品质的生产要求下,不同熟性燕麦品种,在春季播种时均应以早播为宜,其中早熟品种以氮磷混施低施肥较好,中熟品种以高施肥量较好。

4 结论

在干旱半干旱的陇东地区,以高产优质为目的饲用燕麦生产,综合生产性能和营养品质,不同熟性的燕麦品种都应以4月上旬播种为宜。其中早熟品种边锋以氮磷低量施肥(N 45.75 kg/hm²、P₂O₅ 31.50 kg/hm²)效果较好,此时干草产量和粗蛋白含量分别为6 500 kg/hm²和8.81%。中熟品种梦龙以氮磷高量施肥(N 137.25 kg/hm²、P₂O₅ 94.50 kg/hm²)效果较好,此时干草产量和粗蛋白含量分别为6 506.7 kg/hm²和9.49%。

参考文献:

- [1] 柴继宽,赵桂琴,师尚礼. 7个燕麦品种在甘肃二阴区的适应性评价[J]. 草原与草坪, 2011, 31(2): 1-6.
- [2] Assefa G, Feyissa F, Gebeyehu A, *et al.* Characterization of selected oats varieties for their important production traits in the highlands of Ethiopia[C]//proceedings of the 11th annual conference of the Ethiopian Society of Animal Production. 2003; 305-314.
- [3] 侯龙鱼,朱泽义,杨杰,等. 我国饲草用燕麦现状,问题和潜力[J]. 西南民族大学学报:自然科学版, 2019, 45(3): 248-253.

- [4] Ball D M, Collins M, Lacefield G D, *et al.* Understanding forage quality[J]. American Farm Bureau Federation Publication, 2001, 1(1): 1—15.
- [5] 赵桂琴, 慕平, 魏黎明. 饲用燕麦研究进展[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 116—125.
- [6] 娄春华, 王博, 李德锋, 等. 黄河滩区 16 个春播燕麦品种的生产性能和营养品质[J]. 草业科学, 2019, 36(7): 1843—1851.
- [7] 景婷婷, 任淑娉, 王登平, 等. 播期和播量对成都平原“英迪米特”燕麦饲草产量及相关性状的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(10): 2594—2600.
- [8] 曲祥春, 何中国, 郝文媛, 等. 我国燕麦生产现状及发展对策[J]. 杂粮作物, 2006, 26(3): 233—235.
- [9] 郭云冬, 严兴辉. 甘肃省牧草种植及贸易收益分析——以苜蓿草、燕麦草为例[J]. 甘肃农业, 2020(2): 115—118.
- [10] 曹宏. 陇东旱地饲草高效实用生产技术[M]. 陕西: 西北农林科技大学出版社, 2020: 17—23, 170—173.
- [11] 曹宏, 马生发, 韩雍, 等. 5 个紫花苜蓿品种在陇东地区的引进筛选试验[J]. 草业科学, 2014, 31(9): 1761—1766.
- [12] 曹宏, 耿智广, 李茜, 等. 11 个紫花苜蓿品种在庆阳南部的适应性[J]. 草业科学, 2018, 35(8): 1937—1947.
- [13] 梁万鹏, 张金霞, 施海娜, 等. 燕麦在庆阳市北部旱作区生长适应性评价[J]. 饲料研究, 2020, 43(5): 100—102.
- [14] 马雪琴, 赵桂琴, 龚建军. 高寒牧区播期和氮肥对燕麦生长特性的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(7): 63—67.
- [15] 高欣梅, 高前慧, 温丽, 等. 播种期和施肥对燕麦干物质积累及经济产量的影响[J]. 北方农业学报, 2018, 46(2): 10—10.
- [16] 王璐, 王凤梧, 高卿, 等. 不同播期及氮磷肥配施对燕麦产量的影响[J]. 北方农业学报, 2020, 48(3): 80—85.
- [17] 刘庆龙, 田新会, 杜文华. 播种量和播种期对甘肃省高寒牧区不同燕麦品种草产量的影响[J]. 草原与草坪, 2016, 36(2): 71—75.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [19] 张伟, 周青平, 陈有军, 等. 呼伦贝尔地区 10 个引进燕麦品种生产性能及饲草品质比较[J]. 草业学报, 2021, 30(12): 129.
- [20] 童永尚, 王彦龙, 汪鹏斌, 等. 青海甘德县高寒区播期对 7 个燕麦品种产量和品质的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(5): 52—62.
- [21] 张国胜, 李希来, 马宗泰, 等. 播种期和播种密度对“圈窝子”燕麦产量的影响研究[J]. 草业科学, 2002, 19(8): 21—24.
- [22] Moreira N. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat—vetch mixtures[J]. The Journal of Agricultural Science, 1989, 112(1): 57—66.
- [23] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 84—86.
- [24] 李天银. 甘肃河西地区饲燕麦丰产栽培技术[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(8): 14—15+22.
- [25] 吴娜, 曾昭海, 任长忠, 等. 播期对裸燕麦生物学特性和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2008(3): 496—501.
- [26] 宋雨桐, 王建丽, 刘杰淋, 等. 施肥和种植密度对 5 个燕麦品种产量和品质的影响[J]. 中国草地学报, 2020, 42(6): 149—156+164.
- [27] Irfan M, Ansar M, Sher A, *et al.* Improving forage yield and morphology of oat varieties through various row spacing and nitrogen application[J]. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, 2016(26): 1718—1724.
- [28] 吴亚, 张卫红, 陈鸣晖, 等. 不同品种燕麦在扬州地区的生产性能[J]. 草业科学, 2018, 35(7): 1728—1733.
- [29] 董世魁, 蒲小朋, 马金星, 等. 甘肃天祝高寒地区燕麦品种生产性能评价[J]. 草地学报, 2001, 9(1): 44—49.
- [30] 刘华. 不同施肥量对 6 个燕麦品种产量的影响[J]. 青海草业, 2018, 27(3): 24—27.
- [31] 郭兴燕, 梁丹妮, 兰剑. 宁夏引黄灌区燕麦品种生产性能及营养价值研究[J]. 作物杂志, 2016, 32(4): 105—111.
- [32] 周磊, 王璐, 赵宝平, 等. 北方农牧交错区不同播期和刈割期对燕麦饲草产量和品质的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(10): 2355—2363.
- [33] 王丽学, 陈龙宾, 芦娜, 等. 行距和施肥对饲用燕麦产量和营养品质的影响[J]. 中国饲料, 2021(13): 98—102.
- [34] Duda M, Tritan N, Racz I, *et al.* Yield Performance of Spring Oats Varieties as a Response to Fertilization and Sowing Distance[J]. Agronomy, 2021, 11(5): 815.
- [35] 王桃. 高寒牧区 36 种燕麦营养生态特性及其生产效能评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.

Effects of sowing date and fertilizer amount on production performance and nutritional quality of two forage oats in Longdong Area

WANG Ya-shi^{1,3}, CAO Hong^{2,4*}, CHAI Shou-xi^{1,3**}, LI Qian^{2,4}, PENG Zheng-kai^{2,4},
ZHANG Shu-qiang^{2,4}

(1. College of Agriculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Qingyang 745000, China; 3. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070, China; 4. Collaborative Innovation Center for Longdong Dryland Crop Germplasm Improvement & Industrialization, Qingyang 745000, China)

Abstract: **【Objective】** The study is to explore the effects of sowing date and fertilization amount on the production performance and nutritional quality of forage oats in Longdong area. **【Method】** Early-maturing oat Bianfeng and middle-maturing oat Menglong were selected as materials, and the changes of yield and nutritional quality of oat grass under different sowing dates and fertilization rates were studied. Experiment included three sowing dates (early: April 8; middle: April 18; late: April 28) and three fertilizer amounts (Low: N 45.75 kg/hm²+P₂O₅ 31.50 kg/hm²; medium: N 91.50 kg/hm²+P₂O₅ 63.00 kg/hm²; high: N 137.25 kg/hm²+P₂O₅ 94.50 kg/hm²). **【Result】** 1) The plant height, spike length, spikelet number and yield of the two varieties gradually decreased with the delay of sowing date. 2) The crude protein content of the two varieties gradually increased with the delay of sowing date and the increase of fertilizer amount, while the contents of neutral detergent fiber and acid detergent fiber gradually decreased. 3) Under the interaction of sowing date and fertilizer amount, Bianfeng had the highest hay yield (6 500 kg/hm²) with early sowing date and low fertilizer amount, and Menglong had the highest hay yield (6 506.7 kg/hm²) with early sowing date and high fertilizer amount. **【Conclusion】** In the production of oats for the purpose of harvesting forage grass in Longdong area, it was appropriate to sow in early April for different varieties with different maturity. N 45.75 kg/hm² and P₂O₅ 31.50 kg/hm² were the best fertilizer amount for early-maturing oat Bianfeng, while N 137.25 kg/hm² and P₂O₅ 94.50 kg/hm² were the best fertilizer amount for middle-maturing oat Menglong.

Key words: oat; sowing date; fertilizer amount; forage yield; production performance; nutritional value; Longdong region