

## 研究报告

## Research Report

# 青海省不同海拔生态区饲用小黑麦生产性能分析

王东霞<sup>1</sup> 王伟<sup>2</sup> 李春喜<sup>3</sup> 宗渊<sup>3</sup> 曹东<sup>3\*</sup> 刘宝龙<sup>3\*</sup>

1 青海大学农牧学院, 省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁, 810006; 2 青海省畜牧兽医科学院, 西宁, 810016; 3 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省作物分子育种重点实验室, 西宁, 810008

\* 共同通信作者, caodong@nwipb.cas.cn; bliu@nwipb.cas.cn

**摘要** 为了探究青海省不同海拔生态区3种饲用小黑麦在不同播种时间下的生产性能, 本试验设3个不同海拔生态区(乐都生态区, 2 016 m; 湟中生态区, 2 630 m; 同德生态区, 3 251 m), 3个播种时间(早播, 适播, 晚播)和3个自育品系(ZHS2, ZHSI, GY197), 测定和分析3个生态区的3个品系小黑麦在不同播种时间后的生育期、群体动态、草产量、穗部性状、籽粒产量和经济系数等指标的差异。结果表明, ZHS2在乐都生态区, 3月5日播种综合生产性能最好; ZHS2在湟中生态区, 4月10日播种综合生产性能最好; GY197在同德生态区, 4月25日播种综合生产性能最好。本研究结果可作为青海农牧交错区高效种植小黑麦研究提供理论依据。

**关键词** 小黑麦(*Triticale*), 生态区, 生产性能

## Analysis on Production Performance of Forage *Triticale* in Different Altitude Ecological Regions of Qinghai Province

Wang Dongxia<sup>1</sup> Wang Wei<sup>2</sup> Li Chunxi<sup>3</sup> Zong Yuan<sup>3</sup> Cao Dong<sup>3\*</sup> Liu Baolong<sup>3\*</sup>

1 State Key Laboratory of Sanjiangyuan Ecology and Plateau Agriculture and Animal Husbandry, College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, 810006; 2 Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining, 810016; 3 Qinghai Province Key Laboratory of Crop Molecular Breeding, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008

\* Co-corresponding authors, caodong@nwipb.cas.cn; bliu@nwipb.cas.cn

DOI: 10.13271/j.mpb.018.006216

**Abstract** In order to explore the production performance of three kinds of Forage *Triticale* under different sowing time in different altitude ecological regions of Qinghai Province, three ecological regions (Ledu ecological region, 2 016 m; Huangzhong ecological region, 2 630 m; Tongde ecological region, 3 251 m), three sowing time (early sowing, suitable sowing, late sowing), and three lines (ZHS2, ZHSI, GY197) were set up in this experiment. The growth period, population dynamics, grass yield, ear traits, grain yield and economic coefficient of three *Triticale* lines in three ecological regions at different sowing time were measured and analyzed. The results showed that, ZHS2 had the best comprehensive benefit on March 5th in Ledu ecological region; ZHS2 had the best comprehensive benefit on April 10th in Huangzhong ecological region; GY197 had the best comprehensive benefit on April 25th in Tongde ecological region. The results of this study can provide theoretical basis for the study of efficient cultivation of *Triticale* in the farming pastoral ecotone of Qinghai Province.

**Keywords** *Triticale*, Ecological regions, Production performance

基金项目: 本研究由青海省科技厅科技成果转化专项(2018-NK-133)和青海省自然科学基金青年项目(2020-ZJ-972Q)共同资助

引用格式: Wang D.X., Wang W., Li C.X., Zong Y., Cao D., and Liu B.L., 2020, Analysis on production performance of forage *Triticale* in different altitude ecological regions of Qinghai Province, *Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding)*, 18(18): 6216-6228 (王东霞, 王伟, 李春喜, 宗渊, 曹东, 刘宝龙, 2020, 青海省不同海拔生态区饲用小黑麦生产性能分析, *分子植物育种*, 18(18): 6216-6228)

小黑麦(*Triticale*)是小麦(*Triticum*)与黑麦(*Secale cereale*)经过属间杂交和染色体加倍重组而形成的新物种,其结合双亲抗性强和适应性广的优势,小黑麦具有丰产、耐贫瘠、抗寒性强、适应性广等特性(李冬梅等, 2016a)。小黑麦作为粮饲兼用型作物在草地重建与修复中具有较强的适应性,也是首选资源之一(何江峰等, 2012)。饲用型小黑麦由于籽粒产量高、营养品质好,可作为家畜精饲料和高海拔地区的饲草,具有较高经济效益。近年来,随着农业产业结构调整,畜牧业快速发展,然而饲料资源短缺问题逐渐凸显。因此,开发新的优质饲草替代品有助于解决青饲料和精饲料的短缺问题(Zillinsky, 1974; 孙敏和郭媛, 2003; 游永亮等, 2017; 郭建文等, 2018; 赵方媛等, 2019)。

青海省作为全国五大牧区之一,是中国重要的畜牧业生产基地。目前,由于受地区发展制约和青藏高原自然条件限制,饲养管理水平落后,出现超载放牧、草地退化严重的现象。青海省的生态环境遭到不同程度破坏,加之天然草地草资源匮乏,导致需要大量饲草料补充牲畜饲料。为解决天然草地资源匮乏与饲草料需求量大这一矛盾,研究和培育适宜不同生态区种植的小黑麦品种,对缓解畜牧业发展的牧草需求和保护生态环境均有重大意义。近年来,国内外对小黑麦饲草品种性状及其植株性状等相关研究也日渐丰富,国外主要集中在单倍体诱导(Pratap et al., 2006)、籽粒提取物(Rayne, 2013)、植株性状表现和饲草营养品质(Shchipak et al., 2013)等方面的研究。

中国对小黑麦的研究和种植起步相对比较晚,1976年开始种植小黑麦,1991年小黑麦作为粮饲兼用型作物用于农业生产(何江峰等, 2012)。饲用小黑麦品种在中国黑龙江地区的引进品种筛选试验,通过调查分析引进的12个小黑麦品种的草产量、籽粒产量、株高和抗倒性及结实率等指标,筛选出适合该地区种植的2个饲用小黑麦品种和2个粮饲兼用型小黑麦品种(谢楠等, 2010)。通过研究小黑麦株高、分蘖数和干草产量,以及对其营养成分进行综合分析,能够系统掌握小黑麦在不同生态区的生产性能(李冬梅等, 2016b)。不同播种时间对小黑麦生育特点和品质特性均有显著影响,通过探究不同播种时间20个小黑麦品系的越冬率、草产量、茎秆粗蛋白、酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量等的差异,筛选出适应性较强,品质较好的新品系,为进一步研究提高小黑麦草产量和品质方法提供依据(白建军等, 2011)。

为了探索小黑麦在青海不同海拔生态区的生产性能,3个不同海拔的生态区对3个小黑麦自选品系在3个不同播种时间后的饲草产量、籽粒产量和经济系数等指标进行检测和分析,利用TOPSIS分析法对不同海拔生态区的小黑麦生产性能进行综合评价,筛选出不同生态区适宜播种时间最适宜种植的小黑麦品系,为青海省不同生态区大面积推广种植提供理论参考。

## 1 结果与分析

### 1.1 不同播种时间各生态区小黑麦生育期差异比较

3个生态区3个小黑麦品系生育期变化趋势基本一致,均随播种时间推迟生育期天数缩短,同一生态区不同品系间差异较明显,且GY197和ZHS1在各生态区均表现出晚熟特性(表1)。乐都生态区和湟中生态区均从出苗到种子成熟计算为整个生育期,同德生态区从出苗到扬花期计算为整个生育期。

### 1.2 不同播种时间各生态区小黑麦群体动态差异

不同播种时间对乐都生态区、湟中生态区和同德生态区的群体动态影响较大,由于同德生态区海拔较高,年积温较低,小黑麦能开花但不结实。乐都生态区田间基本苗数以GY197最高(图1),334.35~355.05万苗/hm<sup>2</sup>;其次为ZHS2,最低为ZHS1。同一品系的3个播期时间对该生态区田间基本苗影响差异不显著(图1A);田间出苗率以ZHS2最高54.46%~60.01%,其次为GY197,最低为ZHS1(图1B);茎数表现为随着播种时间延迟而降低,播种早分蘖时间长,茎数越多(图1C);单株分蘖数以ZHS1最高,达4.33~5.40个/株,ZHS2和GY197基本相同(图1D),ZHS1田间基本苗较低,是单株分蘖数较高的因素之一;ZHS2的穗数相对较高,而GY197和ZHS1二者的穗数的差异不显著(图1E);同一播种时间下,ZHS2分蘖成穗率显著高于ZHS1和GY197,GY197分蘖成穗率最低(图1F)。

湟中生态区在4月10日和4月30日播种田间基本苗数显著高于4月20日播种;各品系间也存在显著差异,ZHS2和ZHS1显著高于GY197(图2A)。田间出苗率与田间基本苗表现趋势相似,即在4月10日和4月30日播种显著高于4月20日播种,品系间有差异,ZHS2显著高于GY197和ZHS1(图2B)。茎数表现为随着播种时间延迟而显著降低,3个品系均表现为播种越早,茎数越多,品系间ZHS2和

表 1 不同播种时间各生态区小黑麦生育期差异比较  
Table 1 Comparison of growth period difference in different ecological regions with different sowing time

Test point altitude (m)	Lines name	Sowing time	Seedling emergence (Month-day)	Tillering (Month-day)	Jointing (Month-day)	Booting (Month-day)	Heading (Month-day)	Flower (Month-day)	Filling stage (Month-day)	Mature period (Month-day)	Growth period (Days)
乐都	ZHS2	3-5	3-30	4-14	5-11	5-23	5-30	6-18	6-28	7-25	117
Le Du		3-15	4-2	4-16	5-12	5-25	6-4	6-21	6-30	7-24	114
2 016 m		3-25	4-10	4-19	5-14	5-28	6-10	6-24	7-3	7-31	112
	GY197	3-5	3-30	4-14	5-11	5-27	6-7	6-25	7-4	7-31	123
		3-15	4-2	4-16	5-12	5-30	6-10	6-27	7-7	8-1	122
	ZHS1	3-25	4-6	4-20	5-14	6-3	6-14	6-29	7-8	8-2	119
		3-5	4-2	4-14	5-14	5-27	6-6	6-24	7-4	8-7	127
		3-15	4-4	4-18	5-15	5-30	6-12	6-27	7-7	8-6	125
		3-25	4-6	4-22	5-17	6-3	6-15	6-29	7-8	8-6	123
湟中	ZHS2	4-10	4-21	5-6	6-7	6-19	6-27	7-17	7-27	9-10	144
Huangzhong		4-20	4-29	5-12	6-12	6-25	7-3	7-22	7-30	9-13	138
2 630 m		4-30	5-8	5-21	6-13	6-27	7-6	7-23	8-1	9-16	143
	GY197	4-10	4-20	5-6	6-6	6-22	7-1	7-23	8-4	9-24	161
		4-20	4-29	5-13	6-10	6-29	7-10	7-26	8-6	9-26	151
		4-30	5-9	5-23	6-16	7-5	7-15	7-31	8-8	9-28	145
	ZHS1	4-10	4-21	5-8	6-9	6-24	7-5	7-25	8-3	9-24	157
		4-20	4-29	5-14	6-12	6-28	7-11	7-30	8-6	9-26	152
		4-30	5-9	5-24	6-16	7-5	7-15	8-2	8-9	9-28	143
同德	ZHS2	4-25	5-8	5-23	6-22	7-11	7-23	8-4	-	-	89
Tongde		5-5	5-15	5-26	6-24	7-14	7-27	8-11	-	-	89
3 251 m		5-15	5-25	6-5	7-1	7-21	8-5	8-19	-	-	87
	GY197	4-25	5-8	5-29	6-28	7-11	7-30	8-15	-	-	100
		5-5	5-15	6-5	7-1	7-16	8-1	8-17	-	-	95
		5-15	5-25	6-12	7-6	7-23	8-7	8-25	-	-	93
	ZHS1	4-25	5-8	5-26	6-23	7-11	7-31	8-17	-	-	101
		5-5	5-14	6-1	6-24	7-16	8-1	8-17	-	-	96
		5-15	5-25	6-8	7-2	7-23	8-7	8-25	-	-	93

注: - 没有相关数据  
Note: -: No data available

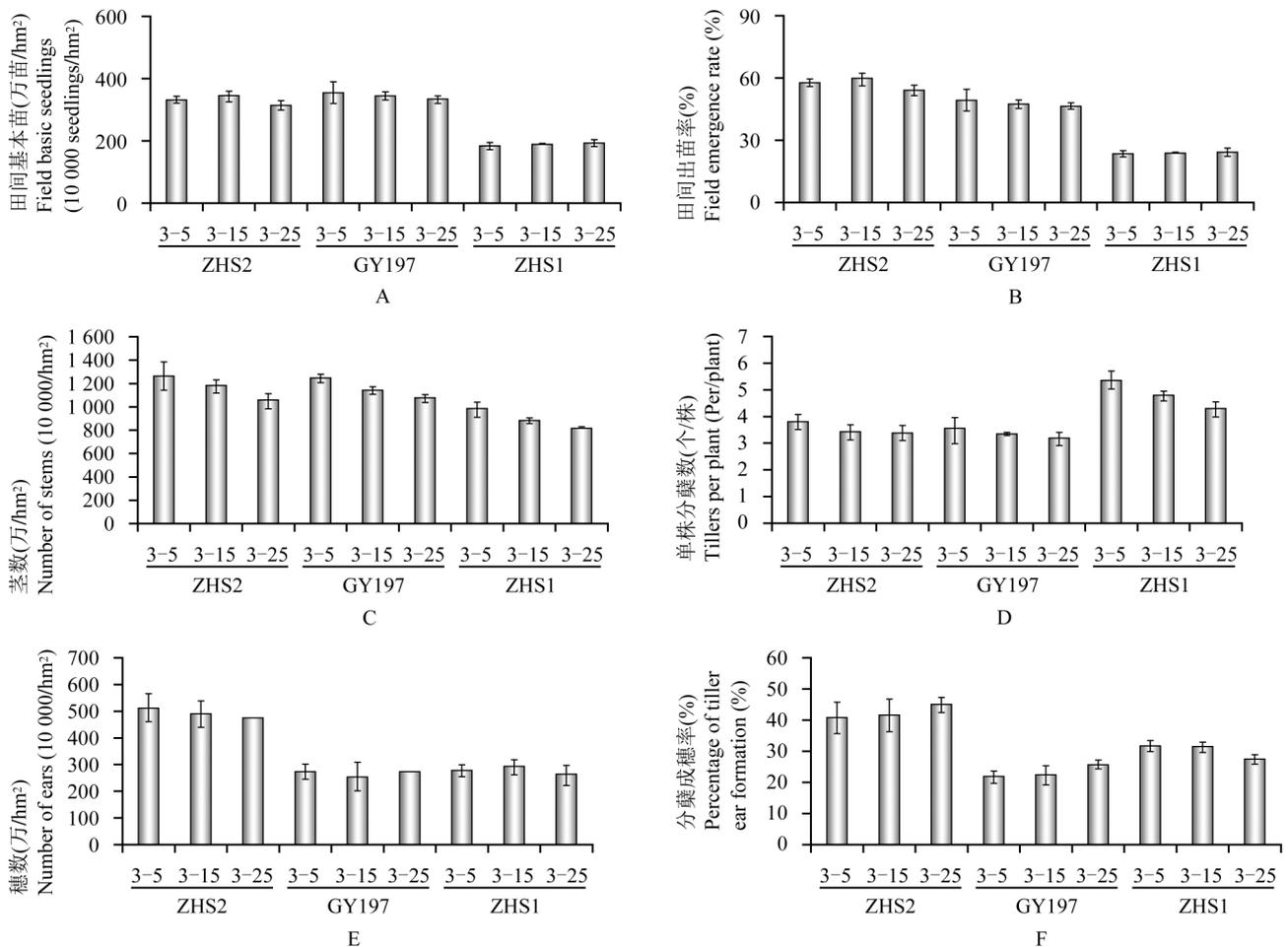


图1 不同播种时间乐都生态区群体动态差异

注: A: 田间基本苗; B: 田间出苗率; C: 茎数; D: 单株分蘖数; E: 穗数; F: 分蘖成穗率

Figure 1 Difference of population dynamics in Ledu ecological region at different sowing time

Note: A: Field basic seedlings; B: Field emergence rate; C: Number of stems; D: Tillers per plant; E: Number of ears; F: Percentage of tiller ear formation

GY197 基本相同,ZHS1 明显较低(图 2C)。单株分蘖数表现在不同播种时间上差异极显著,3 个品系均在 4 月 20 日播种的单株分蘖数达最大值,其次为 4 月 10 日,4 月 30 日最低(图 2D)。穗数表现在随着播种时间的延迟而逐渐降低,品系间也存在显著差异,ZHS2 穗数最高,其次为 GY197,ZHS1 最低(图 2E)。分蘖成穗率在不同播种时间上差异明显,在品系间也存在显著差异,ZHS2 最高,其次为 GY197,ZHS1 最低(图 2F)。

同德生态区田间基本苗数差异显著(图 3),3 个品系均以 5 月 5 日播种达到最大值,其次为 5 月 15 日播种,4 月 25 日播种最低(图 3A);田间出苗率差异显著,以 5 月 5 日播种最高,其次为 5 月 15 日播种,4 月 25 日播种最低,且品系间有差异,以 ZHS2 显著高于 ZHS1 和 GY197(图 3B);茎数以 5 月 5 日

播种 GY197 最高,其次为 4 月 25 日播种 GY197,其他播期差异不显著(图 3C);单株分蘖数差异不显著,均在 2.40 个/株~2.91 个/株之间(图 3D)。

### 1.3 不同播种时间各生态区灌浆期或开花期小黑麦株高、鲜干草产量和干鲜比差异

不同播种时间对小黑麦灌浆期株高、鲜干草产量和干鲜比影响较大。乐都生态区灌浆期株高、鲜草产量、干草产量和干鲜比表现为随播种时间推迟而降低,播种最早的最高,播种最晚的最低。同一品系不同播种期株高差异不显著,但品系间差异明显,ZHS1 达最高大值,其次为 GY197,ZHS2 株高最低(图 4A);同一品系不同播种期鲜草产量差异不显著,品系间 GY197 和 ZHS1,在 3 月 5 日和 3 月 15 日播种差异不显著,但与 ZHS2 差异显著(图 4B);不同播种时间干草产量差异极显著,3 月 5 日播种的 3 个品

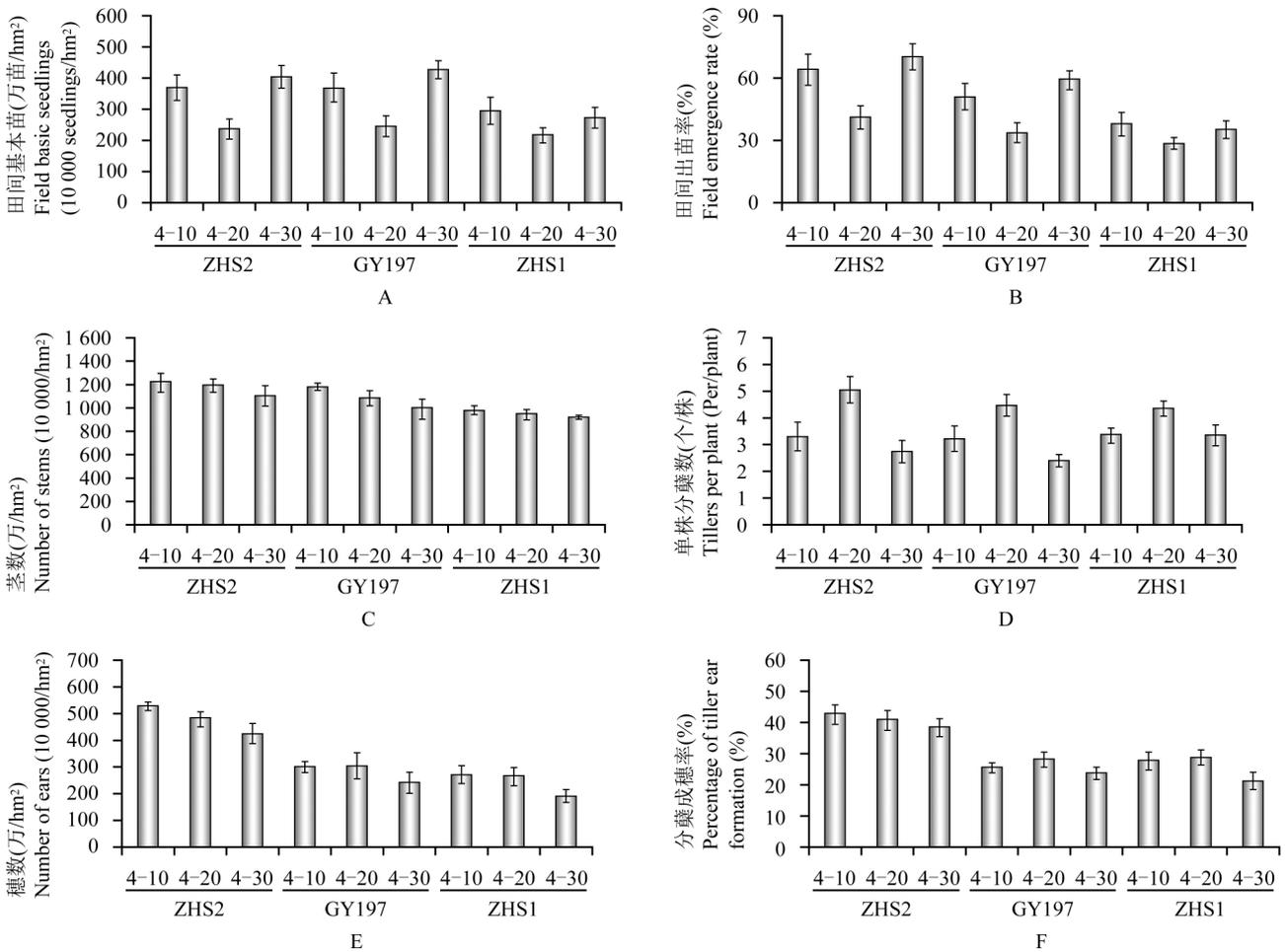


图2 不同播种时间湟中生态区群体动态差异

注: A: 田间基本苗; B: 田间出苗率; C: 茎数; D: 单株分蘖数; E: 穗数; F: 分蘖成穗率

Figure 2 Difference of population dynamics in Huangzhong ecological region at different sowing time

Note: A: Field basic seedlings; B: Field emergence rate; C: Number of stems; D: Tillers per plant; E: Number of ears; F: Percentage of tiller ear formation

系干草产量均高于3月15日和3月25日播种的干草产量(图4C);不同播种时间草的干鲜比以3月5日播种的ZHS2最高,3月25日播种的ZHS2最低,其他品系间和不同播期下差异均不显著(图4D)。

湟中生态区灌浆期株高、鲜草产量、干草产量和干鲜比均表现显著差异。不同播种期和品系间均存在极显著差异,4月10日播种的3个品系株高均显著高于4月20日和4月30日播种,其中ZHS1最高,其次为GY197,ZHS2最低(图5A);同一品种不同播种期鲜草产量差异显著,4月30日播种的3个品系鲜草产量均低于其他播期,且品系间ZHS2鲜草产量显著高于GY197和ZHS1(图5B);不同播种时间干草产量差异极显著,4月10日播种的3个品系干草产量均高于4月20日和4月30日播种,且ZHS2显著高于GY197和ZHS1(图5C);4月10日播种的ZHS1草干鲜比最高,4月30日播种的ZHS2

草干鲜比最低(图5D)。

同德生态区开花期株高、鲜草产量、干草产量和干鲜比均表现出显著差异。不同播种期和品系间株高均存在显著差异,4月25日播种的3个品系株高显著高于5月5日和5月15日播种,品系间ZHS1株高最高,其次为GY197,ZHS2最低(图6A);不同播种期和品系间鲜草产量差异显著,4月25日播种的3个品系鲜草产量显著高于5月5日和5月15日播种(图6B);干草产量品系间差异不显著,同一品系不同播种时间差异显著,4月25日播种的3个品系干草产量显著高于5月5日和5月15日播种(图6C);品系间干鲜比差异不显著,但不同播种时间同一品系干鲜比差异极显著,4月25日播种的干鲜比最高,达31.80%~33.67%,比5月5日和5月15日播种分别高2.14%~2.59%和3.59%~3.98%(图6D)。

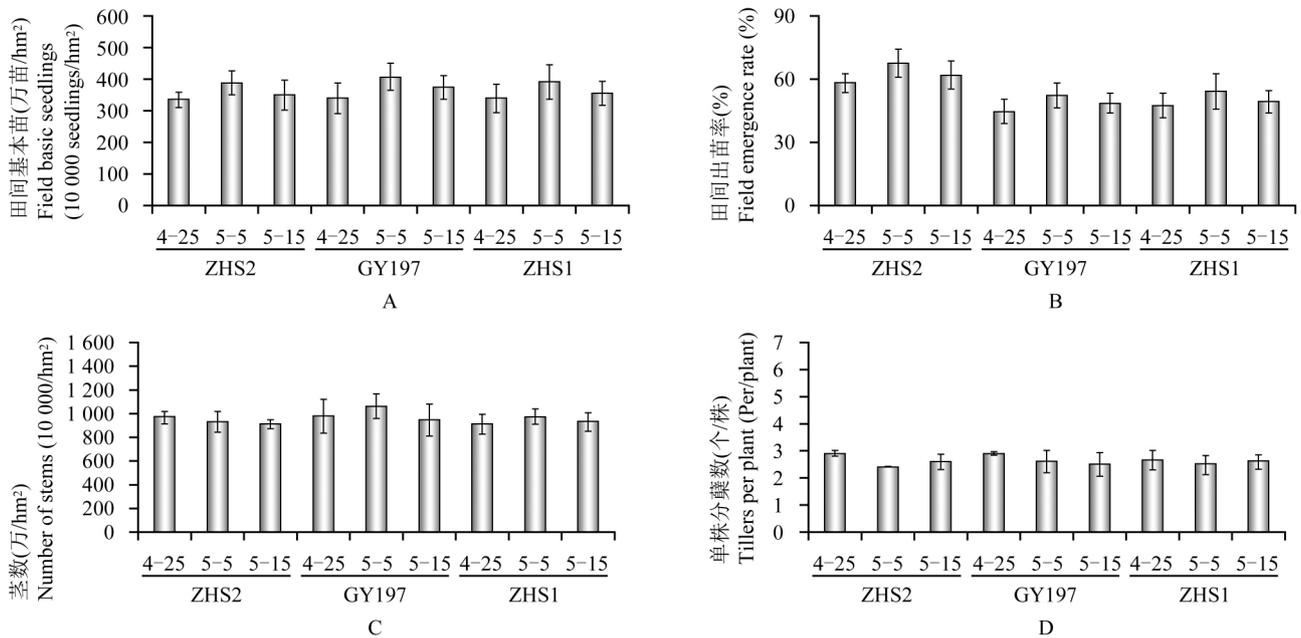


图3 不同播种时间同德生态区群体动态差异

注: A: 田间基本苗; B: 田间出苗率; C: 茎数; D: 单株分蘖数

Figure 3 Difference of population dynamics in Tongde ecological region at different sowing time

Note: A: Field basic seedlings; B: Field emergence rate; C: Number of stems; D: Tillers per plant

#### 1.4 不同播种时间各生态区籽粒成熟期小黑麦穗部性状差异

由于同德生态区9月中旬收获时未能进入到灌浆期,没有穗部结构,未获取穗部性状数据。由结果可看出(图7),乐都生态区和湟中生态区不同播种时间对穗部性状影响显著,其中穗长、总小穗数、穗粒数、穗粒重和千粒重表现为随着播种时间的延迟而降低,播种最早的最高,播种最晚的最低,不孕小穗数表现相反,播种最早的最低,播种最晚的最高。

乐都生态区3个品系ZHS2、GY197和ZHS1穗长在3个播种时间下差异不显著(图7A);3月5日播种的3个品系小黑麦总小穗数显著高于3月15日和3月25日播种(图7B);3个品系穗粒数在同一播期存在显著差异,3月5日播种穗粒数显著高于3月15日和3月25日播种的穗粒数,同一品系不同播期间差异极显著,随播期延迟,穗粒数显著降低(图7C);穗粒重在品系和播期间均存在显著差异,3个品系穗粒重在3月5日播种显著高于3月15日和3月25日播种(图7D);3个品系千粒重3月5日播种差异不显著,但播期间存在极显著差异,3月5日播种显著高于3月15日和3月25日播种(图7E);随播种时间延迟,不孕小穗数显著升高,且各品系间存在显著差异,GY197各个播期不孕小穗数均显著高于ZHS2和ZHS1(图7F)。

湟中生态区4月10日播种的ZHS2、GY197和ZHS1穗长均高于比4月20日和4月30日播种的穗长,且同一品系不同播期间也存在显著差异(图8A);4月10日播种的3个品系小黑麦总小穗数、穗粒数、穗粒重和千粒重均高于4月20日和4月30日播种(图8B;图8C;图8D;图8E);4月10日播种的3个品系不孕小穗数均低于其他播期(图8F)。

通过比较分析不同播种时间乐都生态区和湟中生态区籽粒成熟期小黑麦穗部性状差异可得,在3个播期,ZHS1在乐都生态区和湟中生态区穗长、总小穗数达最大值,ZHS2在乐都生态区穗粒数、穗粒重和千粒重达最大值,在湟中生态区不孕小穗数最少。

#### 1.5 不同播种时间各生态区小黑麦籽粒成熟期干草产量、籽粒产量和经济系数差异

由于同德生态区9月中旬未能进入到灌浆期,因此没有籽粒产量。乐都生态区和湟中生态区,不同播种时间对籽粒成熟期的干草产量、籽粒产量和经济系数有极显著影响(图9)。

乐都生态区,3月15日播种的在籽粒成熟期ZHS2、GY197和ZHS1干草产量均最高,且ZHS2为乐都生态区籽粒成熟期干草产量最高(图9A);籽粒产量品系间差异极显著,同一播种时间ZHS2籽粒产量显著高于GY197和ZHS1达最大值,ZHS2不同播

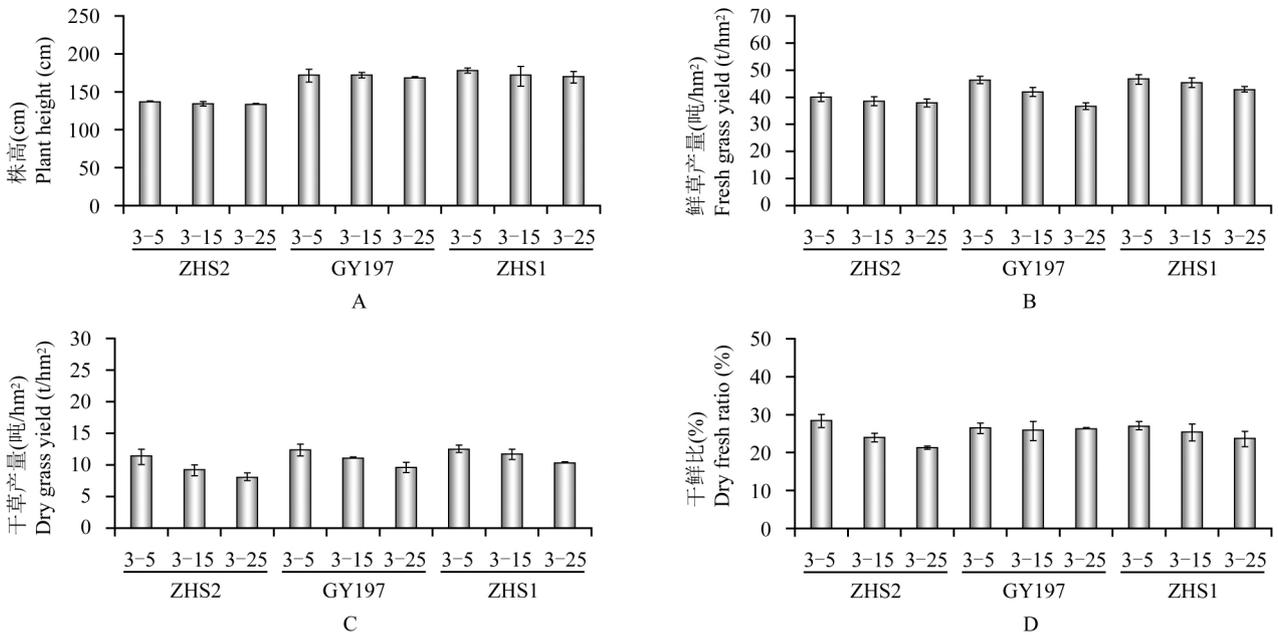


图4 不同播种时间乐都生态区灌浆期株高,鲜干草产量和干鲜比差异  
注: A: 株高; B: 鲜草产量; C: 干草产量; D: 干鲜比

Figure 4 Difference of plant height, fresh hay yield and dry fresh ratio at filling stage in Ledu ecological region at different sowing time

Note: A: Plant height; B: Fresh grass yield; C: Dry grass yield; D: Dry fresh ratio

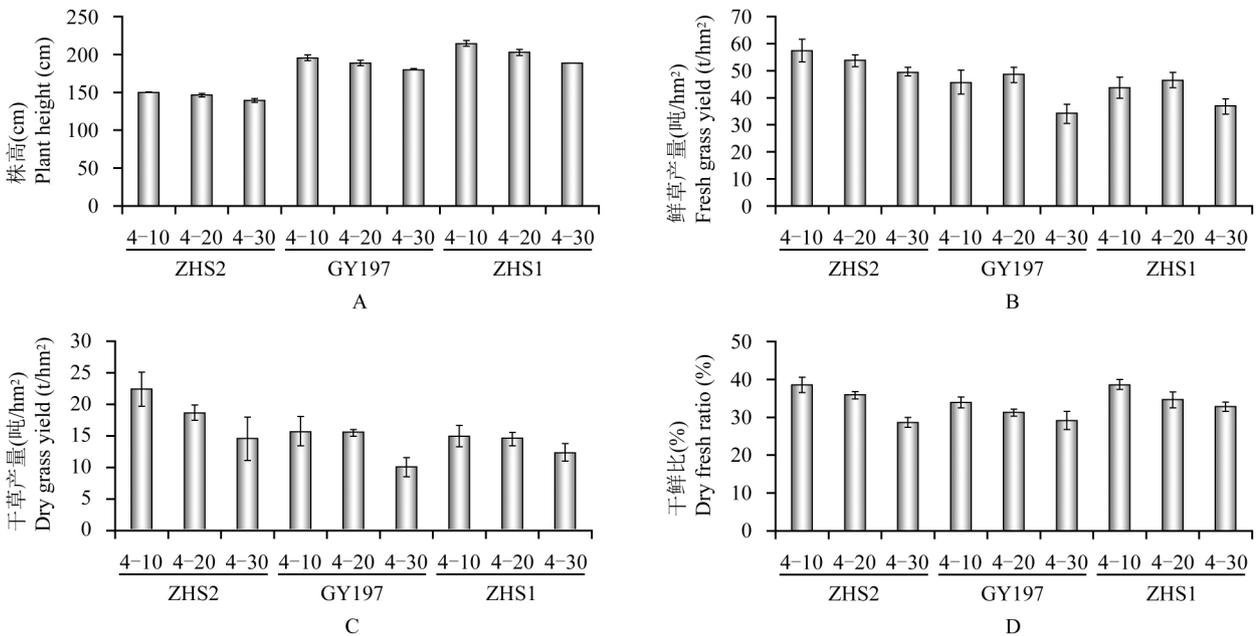


图5 不同播种时间湟中生态区灌浆期株高,鲜干草产量和干鲜比差异  
注: A: 株高; B: 鲜草产量; C: 干草产量; D: 干鲜比

Figure 5 Difference of plant height, fresh hay yield and dry fresh ratio at filling stage in Huangzhong ecological region at different sowing time

Note: A: Plant height; B: Fresh grass yield; C: Dry grass yield; D: Dry fresh ratio

期间也存在显著差异(图 9B);与籽粒产量变化趋势一致,3 个品系经济系数差异极显著,ZHS2 经济系数均高于 GY197 和 ZHS1,不同播种时间表现为随着播种时间的延迟而经济系数降低(图 9C)。

湟中生态区,籽粒成熟期干草产量因播种时间和品系不同均表现出差异,GY197 在第 3 播期达最大值,3 个播期下的 ZHS1 比 ZHS2 和 GY197 的籽粒成熟期干草产量都低(图 10A);籽粒产量表现为随着播种

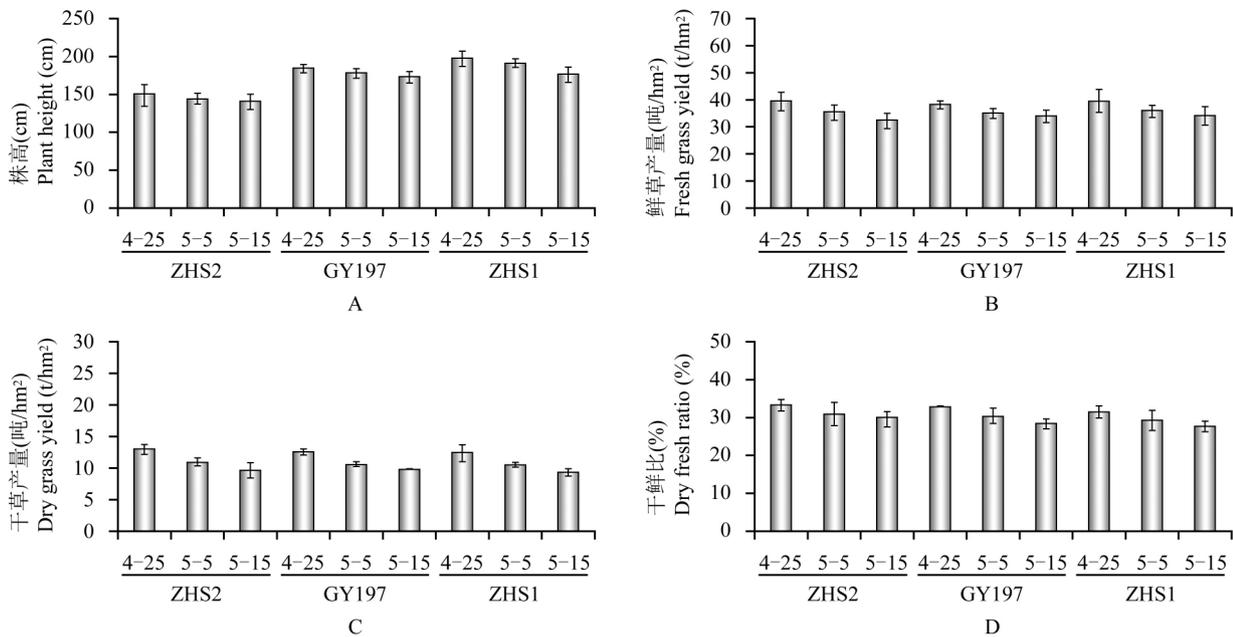


图6 不同播种时间同德生态区开花期株高, 鲜干草产量和干鲜比差异

注: A: 株高; B: 鲜草产量; C: 干草产量; D: 干鲜比

Figure 6 Difference of plant height, fresh hay yield and dry fresh ratio at flowering stage in Tongde ecological region at different sowing time

Note: A: Plant height; B: Fresh grass yield; C: Dry grass yield; D: Dry fresh ratio

时间的延迟而降低,但3个播期下ZHS2籽粒产量均显著高于ZHS1和GY197(图10B);3个品系经济系数在品系间差异极显著,ZHS2经济系数均高于GY197和ZHS1,GY197经济系数最低,不同播种时间表现为随着播种时间的延迟经济系数降低(图10C)。

## 1.6 综合评价

利用TOPSIS分析法对现有数据进行分析,以田间基本苗和田间出苗率为低优指标。分析结果表明,在乐都生态区ZHS2,3月5日播种最佳;湟中生态区ZHS2,4月10日播种最佳;同德生态区GY197,4月25日播种最佳(表2)。

## 2 讨论

青海省地势总体呈西高东低,南北高中部低,东部地区为青藏高原向黄土高原过渡地带。青海省兼具青藏高原、内陆干旱盆地和黄土高原3种地形地貌,属高原大陆性气候。在青海省农牧交错地带,小黑麦作为粮饲兼用型作物,能够有效缓解当地秋冬季节牧草供给不足。

前人研究表明,与普通小麦相比,小黑麦抗旱、抗寒,抗病虫性等均较强,且对土壤类型具有较高的适应性(王庆华,2008)。本研究在青海省不同海拔的

生态区进行错期播种3个综合性状均较好小黑麦,探究不同播种时间小黑麦的生态适应性,通过对群体动态,灌浆期株高、鲜干草产量和干鲜比,穗部性状,籽粒成熟期干草产量、籽粒产量和经济系数等进行分析,表明在不同生态区,均有最适合种植的小黑麦品种和最佳播种时间。其中籽粒产量是决定经济系数的主要因素之一。刘杰和张凤云(2013)利用灰色关联分析法,分析了27个小黑麦品种(品系)的籽粒产量、生物产量等6个农艺性状,初步确定了甘肃河西农牧交错区粮饲兼用型小黑麦高产育种的研究方向,为改良和选育小黑麦新品种提供理论依据。本研究通过分析比较乐都生态区、湟中生态区和同德生态区在不同播期条件下,3个小黑麦品系ZHS2、GY197和ZHS1在灌浆期鲜草产量表现出较大差异,其中湟中生态区ZHS2在4月10日播种,鲜草和干草产量均最高。籽粒成熟期ZHS2和GY197的籽粒产量差异显著,其中乐都生态区ZHS2在4月10日播种,籽粒产量最高。

近年来,关于小黑麦生产性能研究也逐渐深入,通过施氮磷肥对小黑麦生产性能及品质影响的研究,能够确定该地区小黑麦的合理施肥量(游永亮等,2020),通过对不同种植模式下甘南高寒牧区3种饲

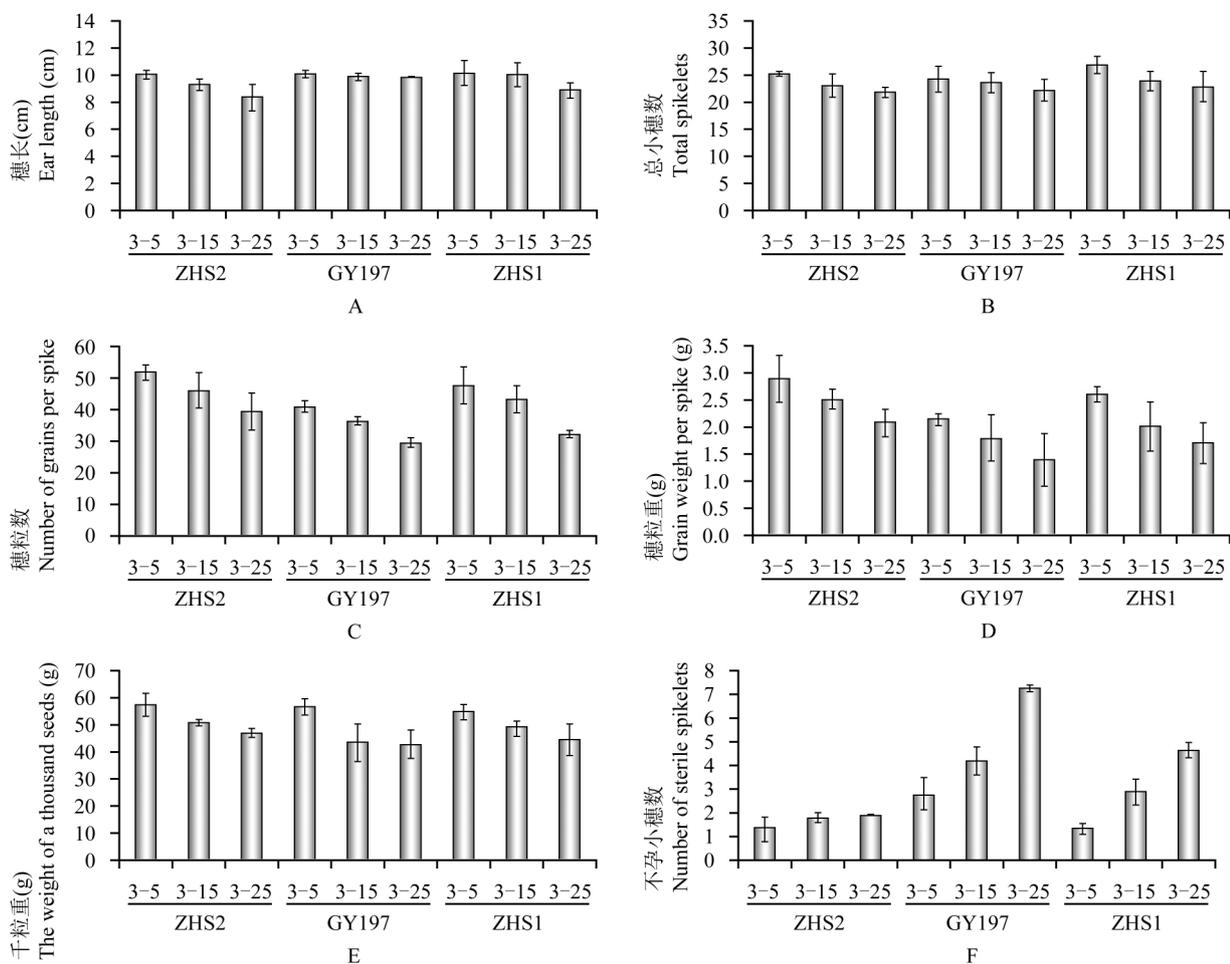


图 7 不同播种时间乐都生态区籽粒成熟期穗部性状差异  
注: A: 穗长; B: 总小穗数; C: 穗粒数; D: 穗粒重; E: 千粒重; F: 不孕小穗数

Figure 7 Difference of ear characters at grain maturity stage in Ledu ecological region at different sowing time

Note: A: Ear length; B: Total spikelets; C: Number of grains per spike; D: Grain weight per spike; E: The weight of a thousand seeds; F: Number of sterile spikelets

用小黑麦生产性能和经济效益进行研究, 初步确定该地区饲用小黑麦的高效种植模式并进行推广应用(裴亚斌等, 2020)。青海地区小黑麦适应性研究也有报道, 阿啟兰等(2019)通过对 14 份小黑麦资源在青海省民和地区的适应性进行研究, 主要通过对该地区小黑麦生育期、株高以及种子萌发期各项生理指标进行测定, 并进行综合分析, 选出适宜该地区种植的 3 个小黑麦材料。

TOPSIS 分析法是近年来被广泛应用的一种新的综合评价方法, 是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法, 是对现有的对象中进行相对优劣的评价, 在作物综合性状评价和生产适应性研究中被广泛应用。蒋聰等(2020)利用 TOPSIS 分析法对云南粳稻品种进行综合评价, 评价效果明显好于其他评价方法。任昱鑫等(2020)结合

TOPSIS 分析法综合评价添加剂对甘肃省高寒牧区不同刈割期小黑麦青贮饲料营养品质和青贮品质的影响。本研究利用 TOPSIS 分析法对不同生态区不同品系小黑麦在不同播期的各个农艺性状进行综合分析, 按照综合分析结果排序, 选出适宜各生态区种植的小黑麦品系。

综上所述, 为筛选确定青海省不同生态区适宜种植的小黑麦品系和最佳播种时间, 本研究选用自然条件差异较大的 3 个生态区, 3 个综合性状较好的饲用小黑麦自选品系, 分别在 3 个不同时间进行播种, 在整个生育期内通过对苗期、灌浆期、成熟期各项指标进行分析, 利用 TOPSIS 分析法进行综合评价, 确定不同生态区最适宜种植的小黑麦品系和最佳播种时间, 为青海省不同生态区大面积推广种植小黑麦提供理论依据。

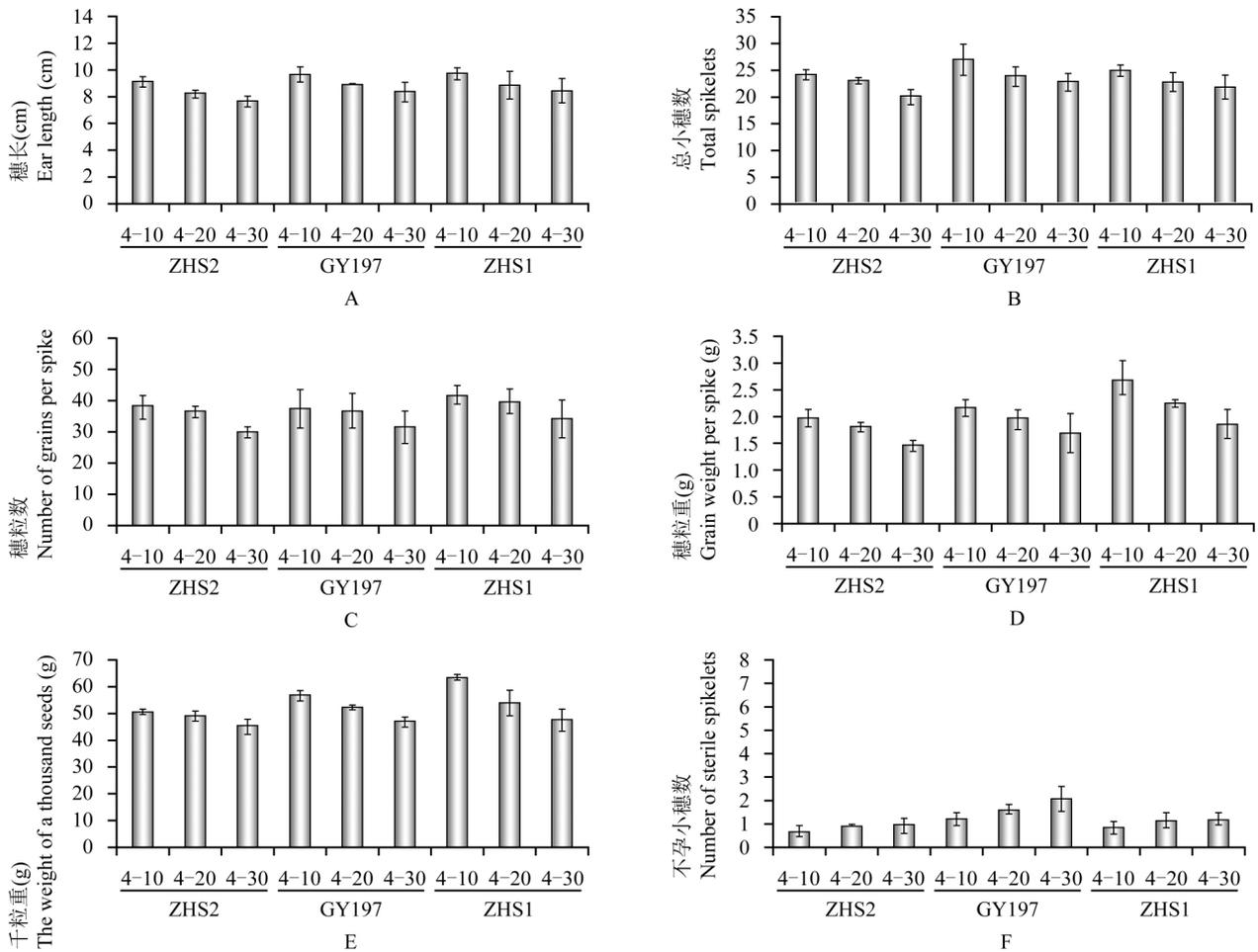


图8 不同播种时间湟中生态区籽粒成熟期穗部性状差异

注: A: 穗长; B: 总小穗数; C: 穗粒数; D: 穗粒重; E: 千粒重; F: 不孕小穗数

Figure 8 Difference of ear characters at grain maturity stage in Huangzhong ecological region at different sowing time

Note: A: Ear length; B: Total spikelets; C: Number of grains per spike; D: Grain weight per spike; E: The weight of a thousand seeds; F: Number of sterile spikelets

### 3 材料与方 法

#### 3.1 试验地概况

乐都生态区,地理坐标 36°28'29"N,102°19'32"E,海拔为 2 016 m, 年均气温为 7.8℃, 年最高气温为 35.4℃,最低 -22.2℃,年积温 3 300℃,年平均降水量 332.5 mm。

湟中生态区,地理坐标 36°43'93"N,101°59'74"E,海拔为 2 630 m, 年均气温为 3.1℃, 年最高气温为 29.4℃,最低 -31.7℃,年积温 2 014℃,年平均降水量 533.4 mm。

3.1.3 同德生态区, 地理坐标 35°06'52"N,100°33'57"E,海拔为 3 251 m,年均气温为 0.3℃,年最高气温为 28.1℃,最低 -36.2℃,年积温 1 481℃,年平均降水量 439.5 mm。

#### 3.2 供试材料

试验材料小黑麦采用 ZHS2、GY197 和 ZHS1,共 3 个自育品系,均由中国科学院西北高原生物研究所提供。

#### 3.3 三因素正交试验

A 因素为不同海拔生态区, 设置 3 个水平,A1: 乐都,海拔 2 016 m;A2: 湟中,海拔 2 630 m;A3: 同德,海拔 3 251 m。

B 因素为不同品系,设置 3 个水平,B1:ZHS2;B2: GY197;B3: ZHS1。

C 因素为播种时间,设置 3 个水平 C1: 早播,C2: 中播;C3: 晚播。

#### 3.4 测定指标

小区两边第 3 行为样段区, 数据均在样段区

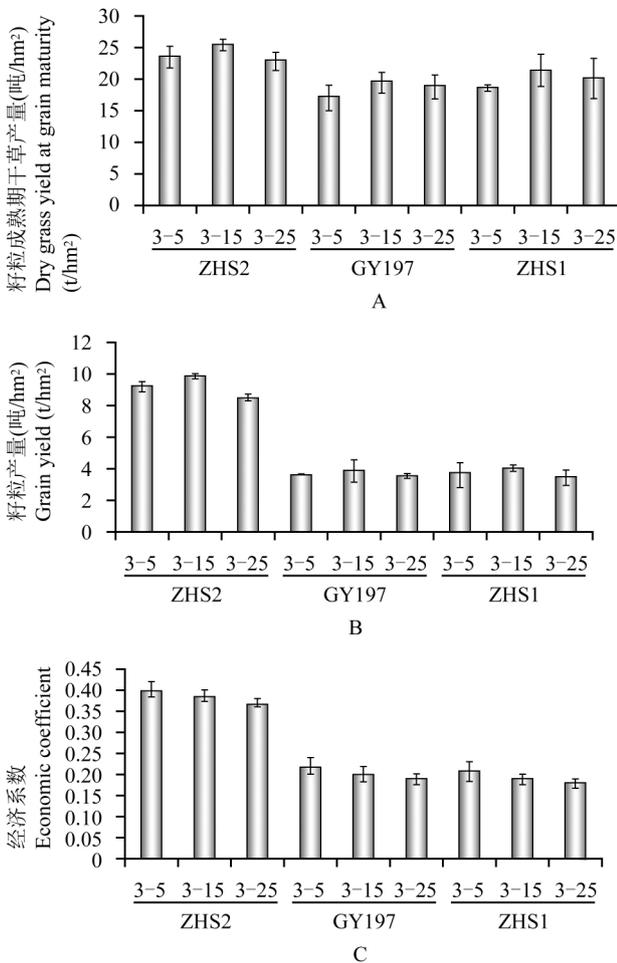


图9 不同播种时间乐都生态区籽粒成熟期干草产量, 籽粒产量和经济系数差异

注: A: 粒成熟期干草产量; B: 籽粒产量; C: 经济系数

Figure 9 The differences of hay yield, grain yield and economic coefficient in Ledu ecological region at different sowing time

Note: A: Dry grass yield at grain maturity; B: Grain yield; C: Economic coefficient

内取得。

生育期: 从出苗到成熟期所经历的时间。

群体动态: 在3叶期查苗数、拔节前到拔节期查茎数、收割前查穗数, 统计并计算出每公顷的田间基本苗、田间出苗率、总茎数和单株分蘖数、总穗数和分蘖成穗率。

鲜草产量和干草产量: 乐都生态区和湟中生态区在灌浆期分别割取小区7行的植株, 齐地面刈割, 分别测定鲜草重量, 后置于晾晒棚内自然晾晒, 待含水量降至30%时, 且稳定后称重, 测得干草重量; 同德生态区由于海拔高, 年积温不足, 使得籽粒不能成熟, 没有穗部相关数据, 测整个小区的鲜草和干草重量; 小区的干草重量和鲜草重量之比为干鲜比, 并分

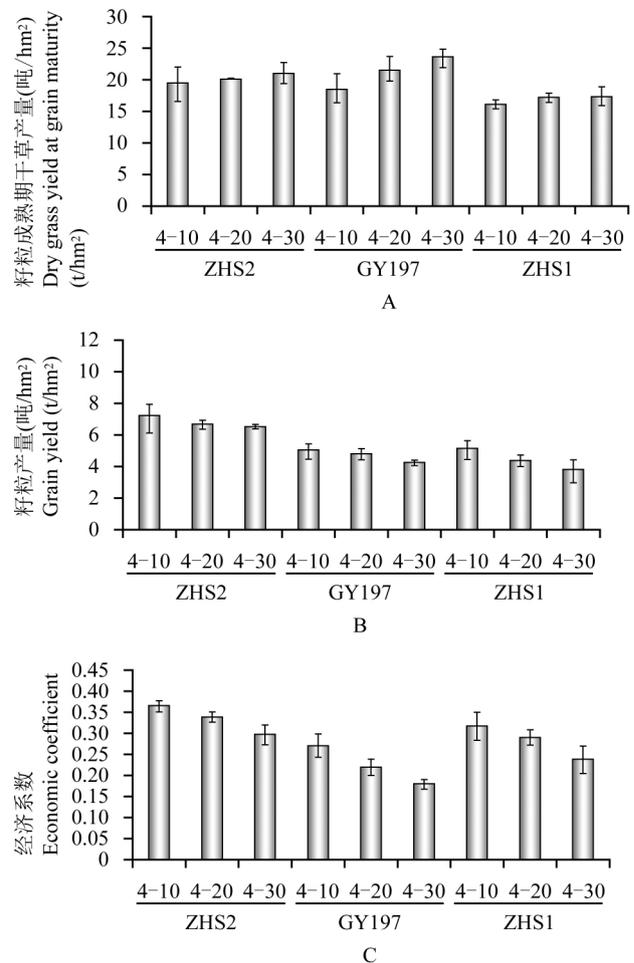


图10 不同播种时间湟中生态区籽粒成熟期干草产量, 籽粒产量和经济系数差异

注: A: 粒成熟期干草产量; B: 籽粒产量; C: 经济系数

Figure 10 Difference of hay yield, grain yield and economic coefficient in Huangzhong ecological region at different sowing time

Note: A: Dry grass yield at grain maturity; B: Grain yield; C: Economic coefficient

别计算出每公顷的鲜草产量和干草产量。

穗部性状: 乐都生态区和湟中生态区籽粒成熟期在每个小区样段内(边行除外)连续取20穗, 于室内测穗长、总小穗数、不孕小穗数、穗粒数、穗粒重和千粒重。

籽粒成熟期干草产量、籽粒产量和经济系数: 乐都生态区和湟中生态区于籽粒成熟期收获剩余8行的全部植株, 齐地面刈割, 置于晾晒棚内晾晒, 待含水量降至30%时, 且稳定后称重, 为干重产量, 在小型脱粒机上按照小区脱粒, 种子含水量降至12%时, 计算出籽粒成熟期每公顷的干草产量和籽粒产量, 籽粒产量和干草产量之比为经济系数。

表2 不同生态区小黑麦各品系在不同播种期的各项指标 TOPSIS 评价

Table 2 TOPSIS evaluation of the different bred lines indexes in different ecological regions at different sowing dates

生态区 Ecological regions	品系名称 Lines name	播种日期(月-日) Sowing date (Month-Day)	D+	D-	统计量 CI Statistic CI	名次 Rank
乐都 Ledu	ZHS2	3-5	0.429	1.005	0.701	3
2 016 m	ZHS2	3-15	0.496	0.960	0.659	5
		3-25	0.524	0.886	0.628	8
		3-5	0.635	0.712	0.529	14
	GY197	3-15	0.677	0.658	0.493	16
		3-25	0.723	0.619	0.461	18
		3-5	0.484	0.859	0.640	7
	ZHS1	3-15	0.573	0.786	0.579	12
		3-25	0.654	0.697	0.516	15
		4-10	0.361	1.016	0.738	1
湟中 Huangzhong	ZHS2	4-20	0.341	0.916	0.729	2
2 630 m	ZHS2	4-30	0.509	0.801	0.611	9
		4-10	0.506	0.789	0.609	10
		4-20	0.503	0.763	0.603	11
	GY197	4-30	0.679	0.653	0.49	17
		4-10	0.415	0.885	0.681	4
		4-20	0.451	0.802	0.640	6
	ZHS1	4-30	0.581	0.678	0.539	13
		4-25	1.171	0.130	0.100	21
		4-25	1.171	0.130	0.100	21
同德 Tongde	ZHS2	5-5	1.188	0.081	0.064	26
3 251 m	ZHS2	5-15	1.188	0.072	0.057	27
		4-25	1.164	0.146	0.111	19
		5-5	1.179	0.105	0.081	22
	GY197	5-15	1.181	0.090	0.071	24
		4-25	1.168	0.139	0.106	20
		5-5	1.180	0.102	0.079	23
	ZHS1	5-15	1.180	0.088	0.070	25

注: D+: 与理想值的距离; D-: 与负理想值的距离; CI: 接近理想值的程度

Note: D+: Distance from ideal value; D-: Distance from negative ideal value; CI: Level of closing to ideal value

### 3.5 数据处理

采用 SPSS 20.0 统计软件对测定数据进行差异显著性分析和多重比较,每个小区设置 3 次重复,每个指标测定 3 次重复,DPS 7.05 进行 TOPSIS 分析。

### 作者贡献

王东霞是本研究的实验设计者和实验研究的执行人,并完成数据分析和论文初稿的写作;王伟、李春喜和宗渊参与实验设计和试验结果分析;曹东和刘宝龙是项目的构思者及负责人,指导实验设计、数据分析和论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

### 致谢

本研究由青海省科技厅科技成果转化专项(2018-NK-133)和青海省自然科学基金青年项目(2020-ZJ-972Q)共同资助。

### 参考文献

- A Q.L., Wei X.X., Jia Z.F., Ma X., and Zhou Q.P., 2019, Adaptability test of 14 *Triticale* resources in Minhe, Qinghai, *Zhongguo Nongxue Tongbao* (Chinese Agricultural Science Bulletin), 35(18): 154-159 (阿啟兰, 魏小星, 贾志锋, 马祥, 周青平, 2019, 14 份小黑麦资源在青海民和地区的适应性试验, *中国农学通报*, 35(18): 154-159)
- Bai J.J., Li C.Y., Cao L.P., Kong G.C., Li W.H., and Li C., 2011,

- Analysis of the gray relational grade related to drought tolerance traits in *Triticale*, *Xinjiang Nongye Kexue* (*Xinjiang Agricultural Sciences*), 48(6): 109-114 (白建军, 李春艳, 曹连莆, 孔广超, 李卫华, 李诚, 2011, 小黑麦抗旱相关性状的灰色关联度分析, *新疆农业科学*, 48(6): 109-114)
- Guo J.W., Li L.Y., Tian X.H., and Du W.H., 2018, Study on the production performance and quality of forage *Triticale* line in different areas of Gansu Province, *Caoyuan yu Caoping* (*Grassland and Tuff*), 38(4): 72-77 (郭建文, 李林渊, 田新会, 杜文华, 2018, 饲草型小黑麦新品系在甘肃高海拔地区的生产性能和品质研究, *草原与草坪*, 38(4): 72-77)
- He J.F., Zhao M.L., Zheng Y.H., and Li M., 2012, Forage characteristics and application perspective of *Triticale* in grassland ecology, *Zhongguo Caodi Xuebao* (*Chinese Journal of Grassland*), 31(1): 101-107 (何江峰, 赵萌莉, 郑轶慧, 李敏, 2012, 小黑麦的饲用特性及其在草地生态中的应用前景, *中国草地学报*, 31(1): 101-107)
- Jiang C., Liu W.H., Yang X.K., Wu Z.G., and Zou Q., 2020, Comprehensive evaluation about Yunnan Japonica varieties with DTOPSIS and grey related degree, *Xinan Nongye Xuebao* (*Southwest China Journal of Agricultural Sciences*), 33(5): 907-912 (蒋聪, 刘慰华, 杨旭昆, 吴志刚, 邹茜, 2020, 灰色关联度分析和 DTOPSIS 法在云南粳稻品种综合评价中的应用, *西南农业学报*, 33(5): 907-912)
- Li D.M., Tian X.H., and Du W.H., 2016a, Studies on the forage yield and nutritional value of new *Triticale* lines, *Caodi Xuebao* (*Acta Agrestia Sinica*), 24(6): 1164-1169 (李冬梅, 田新会, 杜文华, 2016a, 小黑麦新品系的草产量及营养价值研究, *草地学报*, 24(6): 1164-1169)
- Li D.M., Tian X.H., and Du W.H., 2016b, Study on the production performance of new forage *Triticale* lines in irrigation area of Lintao, Gansu Province, *Caoyuan yu Caoping* (*Grassland and Tuff*), 36(5): 76-81 (李冬梅, 田新会, 杜文华, 2016b, 饲草型小黑麦新品系在甘肃临洮灌区的生产性能研究, *草原与草坪*, 36(5): 76-81)
- Liu J., and Zhang F.Y., 2013, Application of grey relation analysis on triticale breeding for grain and forage, *Shandong Nongye Kexue* (*Shandong Agricultural Sciences*), 45(12): 10-13 (刘杰, 张凤云, 2013, 灰色关联分析法在粮饲兼用小黑麦育种上的应用, *山东农业科学*, 45(12): 10-13)
- Pei Y.B., Du W.H., Liu H.C., Liu C., and Tian X.H., 2020, Comparison of the production performance and economic benefits of three different forage planting models in the alpine grazing area of Gannan, *Caoye Kexue* (*Pratacultural Science*), 37(4): 791-799 (裴亚斌, 杜文华, 刘汉成, 刘翠, 田新会, 2020, 甘南高寒牧区 3 种饲草不同种植模式下的生产性能及经济效益, *草业科学*, 37(4): 791-799)
- Pratap A., Sethi G.S., and Chaudhary H.K., 2006, Relative efficiency of anther culture and chromosome elimination techniques for haploid induction in triticale×wheat and triticale × triticale hybrids, *Euphytica*, 150(3): 339-345
- Rayne S., 2013, Comment on Optimization of alkylresorcinols extraction form *Triticale* bran using response surface methodology, *Food and Bioprocess Technology*, 6(6): 1618
- Ren Y.X., Dai H.L., Tian X.H., and Du W.H., 2020, Effects of different additives and cutting dates on nutritional and silage fermentation quality of *Triticale* silage in an alpine pastoral area of Gansu Province, *Caoye Xuebao* (*Acta Pratacultural Sinica*), 29(3): 197-206 (任昱鑫, 代寒凌, 田新会, 杜文华, 2020, 添加剂对甘肃省高寒牧区不同刈割期小黑麦青贮饲料营养品质和青贮品质的影响, *草业学报*, 29(3): 197-206)
- Shchipak G.V., Tsupko Y.V., and Shchipak V.G., 2013, Bread-making qualities of the cultivars of winter hexaploid triticale, *Russian Agricultural Sciences*, 39(2): 95-101
- Sun M., and Guo Y., 2003, Biology property, nutritive value and use foreground of triticale, *Shanxi Nongye Daxue Xuebao* (*Journal of Shanxi Agricultural University*), 23(3): 201-203 (孙敏, 郭媛, 2003, 小黑麦生物学特性、营养价值及利用前景, *山西农业大学学报*, 23(3): 201-203)
- Wang Q.H., 2008, Study on the adaptability of grain and forage crop triticale, *Anhui Nongye Kexue* (*Journal of Anhui Agriculture Sciences*), 36(6): 2279-2286 (王庆华, 2008, 粮饲兼用型作物小黑麦的适应性, *安徽农业科学*, 36(6): 2279-2286)
- Xie N., Li Y., Zhao H.M., and Liu G.B., 2010, Introduction and selection of triticale varieties in Heilonggang region, *Caoye Kexue* (*Pratacultural Science*), 27(7): 58-62 (谢楠, 李源, 赵海明, 刘贵波, 2010, 饲用小黑麦品种在黑龙港地区的引进筛选, *草业科学*, 27(7): 58-62)
- You Y.L., Li Y., Zhao H.M., Wu R.X., Liu G.B., and Zhai L.J., 2017, Effect of planting density on × *Triticale* Wittmack and *Secale cereale* seed productivity, *Caoye Kexue* (*Pratacultural Science*), 34(7): 1522-1529 (游永亮, 李源, 赵海明, 武瑞鑫, 刘贵波, 翟兰菊, 2017, 种植密度对饲用小黑麦、饲用黑麦种子生产性能的影响, *草业科学*, 34(7): 1522-1529)
- You Y.L., Li Y., Zhao H.M., Wu R.X., and Liu G.B., 2020, Effect of nitrogen and phosphate fertilizer application on yield and forage quality of forage tricale on the Haihe Plain, *Caoye Xuebao* (*Acta Pratacultural Sinica*), 29(3): 137-146 (游永亮, 李源, 赵海明, 武瑞鑫, 刘贵波, 2020, 海河平原区施氮磷肥对饲用小黑麦生产性能及营养品质的影响, *草业学报*, 29(3): 137-146)
- Zhao F.Y., Du W.H., and Tian X.H., 2019, Study on straw yield and nutrition quality of feed-type *Triticale* lines, *Caodi Xuebao* (*Acta Agrestia Sinica*), 27(4): 913-920 (赵方媛, 杜文华, 田新会, 2019, 饲料型小黑麦品系的秸秆产量及其营养品质研究, *草地学报*, 27(4): 913-920)
- Zillinsky F.J., 1974, The development of *Triticale*, *Advances in Agronomy*, 26(1): 315-348