

张 垚, 葛均筑, 周广生, 等. 气象因子对饲用油菜越冬性及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1419-1427.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.06.010

气象因子对饲用油菜越冬性及产量和品质的影响

张 垚¹, 葛均筑¹, 周广生², 傅廷栋², 吴锡冬¹, 杨永安³, 侯海鹏⁴, 梁 茜¹, 马志琪¹

(1. 天津农学院农学与资源环境学院, 天津 300384; 2. 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室, 湖北 武汉 430070; 3. 天津市优质农产品开发示范中心, 天津 宁河 301500; 4. 天津市种植业发展服务中心, 天津 300061)

摘要: 选用白菜型和甘蓝型品种, 探究气象因子对华北平原油菜越冬性及饲用产量和品质的调控效应。结果表明, 白菜型品种生育期比甘蓝型品种缩短10~15 d, 越冬率提高50.6%, 冬后密度增加41.5%。白菜型品种鲜饲料产量(*FFY*)和干饲料产量(*DFY*)比甘蓝型品种分别显著提高40.9%和38.1%; 但甘蓝型品种饲用品质显著优于白菜型, 与白菜型品种相比甘蓝型品种粗蛋白质(*CP*)、脂肪、灰分和总脂肪酸(*TFA*)含量分别提高27.6%、42.9%、23.9%和52.3%, 牛奶生产力(*HM*)、相对饲用价值(*RFV*)和相对饲料品质(*RFQ*)分别提高14.0%、16.2%和42.1%。越冬前光热资源提高了油菜越冬率和冬后密度($P < 0.05$), 与*FFY*和*DFY*呈正相关关系($P > 0.05$); 但越冬期温度越低, 油菜越冬率越低($P < 0.01$), 越冬期和返青后光热资源与*FFY*和*DFY*呈负相关性($P > 0.05$)。油菜粗蛋白质、脂肪和总脂肪酸含量与越冬前温度和日照时数呈极显著负相关关系, 而与越冬期和返青后温度以及越冬期日照时数呈极显著正相关关系; *HM*与越冬期温度、日照时数和降雨量均呈极显著正相关关系, *RFV*和*RFQ*仅与越冬期最高温度和降雨量呈极显著正相关。总之, 华北平原秋播饲用油菜种植中, 从提高越冬率考虑应以白菜型品种为主, 从饲用品质考虑应以甘蓝型品种为主, 综合考虑华北平原秋播饲用油菜可选用甘蓝型品种华油杂62。

关键词: 饲用油菜; 气象因子; 越冬性; 产量; 品质

中图分类号: S548 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2020)06-1419-09

Effects of meteorological factors on overwintering ability, yield and quality of forage rape

ZHANG Yao¹, GE Jun-zhu¹, ZHOU Guang-sheng², FU Ting-dong², WU Xi-dong¹, YANG Yong-an³, HOU Hai-peng⁴, LIANG Qian¹, MA Zhi-qi¹

(1. College of Agronomy & Resources and Environment, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. National Key Lab of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. Tianjin High Quality Agricultural Products Development Demonstration Center, Tianjin 300061, China; 4. Tianjin Planting Industry Development Service Center, Tianjin 300061, China)

Abstract: In order to investigate the effects of meteorological factors on overwintering ability, forage yield and quality

收稿日期: 2020-07-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200808); 天津市种业科技重大专项(18ZXZYN00100); 天津市教委科研计划项目(自然科学)(2019KJ039)

作者简介: 张 垚(1997-), 男, 山西朔州人, 硕士研究生, 研究方向为油菜抗逆栽培, (E-mail) 931767845@qq.com

通讯作者: 葛均筑, (E-mail) gjz0121@126.com

of rape in the North China Plain, *Brassica rapa* L. and *B. napus* L. were used in this study. The results showed that compared with *B. napus* L., the growth period of *B. rapa* L. was shortened by 10-15 d, overwintering rate (*WR*) was increased by 50.6%, and density (*PD*) after winter was increased by 41.5%. Moreover, the fresh forage yield (*FFY*) and dry forage yield (*DFY*) of *B. rapa* L.

were increased by 40.9% and 38.1%. The forage quality of *B. napus* L. was significantly better than that of *B. rapa* L. Compared with *B. rapa* L., the contents of crude protein (CP), fat, ash and total fatty acid (TFA) in *B. napus* L. were increased by 27.6%, 42.9%, 23.9% and 52.3%, respectively, and milk productivity (HM), relative forage value (RFV) and relative forage quality (RFQ) increased by 14.0%, 16.2% and 42.1%. The light and heat resources before overwintering increased the WR and PD, and were positively correlated with FFY and DFY ($P>0.05$). With the decrease of temperature in overwintering period, the WR decreased significantly. And the light and heat resources during the overwintering period and after regreening were negatively correlated with FFY and DFY. The contents of CP, fat and TFA were negatively correlated with temperature and SH before overwintering, and positively correlated with temperature during the overwintering period and after regreening and sunshine hours during the overwintering period. The HM was significantly positively correlated with temperature, SH and rainfall during overwintering period, while RFV and RFQ were significantly positively correlated with maximum temperature and rainfall. In conclusion, the *B. rapa* L. overwintering rate, and *B. napus* L. has better forage quality. Taken together, HYZ62 could be selected for autumn sowing in North China Plain.

Key words: forage rape; meteorological factors; overwintering ability; yield; quality

中国是油菜生产大国,种植面积和产量均约占世界 25%左右。华中农业大学傅廷栋院士团队在 20 世纪 80 年代开始试种推广饲用油菜^[1]。近年来饲用油菜在不同生态区种植,具有广泛的适应性^[2-6]。饲用油菜具有较高的总能量和粗蛋白质含量,中性洗涤纤维含量较低^[7],单位面积粗蛋白质产量远高于豆科饲草^[8],可以缓解畜牧业发展中青饲料不足的问题。栽培措施可显著提高油菜饲用产量,播种量能显著提高复种油菜叶面积指数以及群体同化率,提高产量^[9-10];增施氮肥可促进干物质积累和群体形态结构建成,显著提高油菜生物产量^[11];适时早播能延长光温时间提高饲料油菜养分积累、提高青贮品质^[9];开花期刈割产量最高^[10-12];初花期粗蛋白质、粗脂肪含量最高,花期以后粗纤维含量增多,饲喂品质降低^[13]。通过调整播期与收获期可调控油菜生育时期内的温度、光照和降雨量,开花后低温会延长生殖生长期^[14]。油菜生育期月均温每升高 1℃和月平均降雨量每增加 10 mm,油菜籽粒产量分别降低 0.74%~2.92%和 1.64%~13.61%^[15]。品种、病虫害防治、播期、肥料运筹、密度的综合调控可提高气候变化背景下油菜生产稳定性^[16]。温度和光照是影响油菜产量和品质的 2 个重要因素,但已有研究主要集中在油料油菜,对饲用油菜的研究报道较少。近年来,华北平原畜牧业快速发展,种植业进行“粮改饲”结构调整,油菜饲用逐渐得到发展,但关于该区域秋播油菜安全越冬的问题,以及饲用产量与品质的形成机理缺乏研究。因此,本研究选用 2 个白菜型品种和 3 个甘蓝型品种,研究

气象因子对华北平原秋播油菜越冬性及油菜饲用产量和品质的影响,以期为该区域的饲用油菜发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

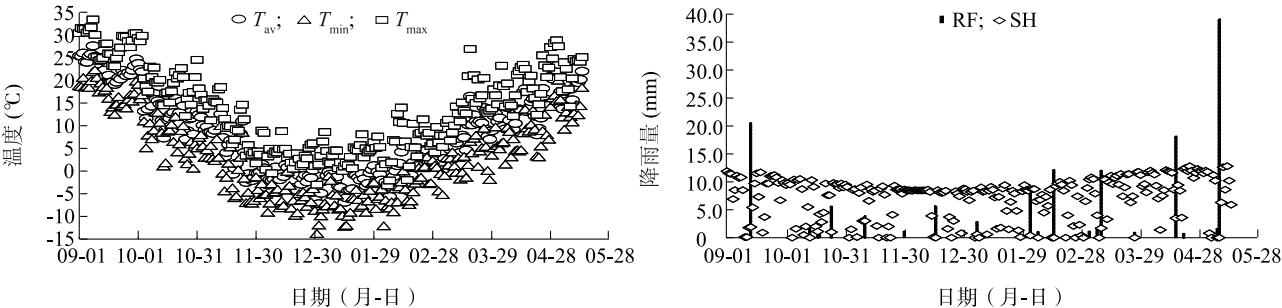
试验于 2019 年 9 月—2020 年 5 月在天津市优质农产品开发示范中心基地进行。采用品种单因素随机区组设计,品种选用白菜型品种陇油 12 (LY12)和天油 12 (TY12),甘蓝型品种华油杂 62 (HYZ62)、饲油 2 号 (SY2) 和华油杂 158 (HYZ158)。于 2019 年 9 月 24 日播种,采用大区设置,每小区 300 m²,播量为 7.5 kg/hm²,种子与细沙混匀后采用小麦小区播种机机播,行距 40 cm。播种前整地底施复合肥 300 kg/hm²,蕾薹期追施纯 (N) 45 kg/hm²,其他田间管理采用普通大田管理模式。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 气象数据 油菜生长季日气象数据来自气象站数据(图 1),主要包括日均温(T_{av})、日最高温(T_{max})、日最低温(T_{min})、日照时数(SH)、降雨量(RF)的有效积温量(GDD)(以油菜生物学温度 0℃计算)。

1.2.2 生育时期 记载播种期、出苗期、越冬期、返青期、薹期、始花期和盛花期末期(饲料油菜收获期)。

1.2.3 越冬率(Winter rate, WR) 油菜越冬前和返青后每小区选取代表性样点 5 个,调查 2 行 1.25 m 长即 1 m²的总苗数,计算越冬率。



T_{av} :日均温度; T_{max} :日最高温度; T_{min} :日最低温度; SH :日照时数; RF :降雨量; GDD :有效积温量。

图1 油菜生长季气象因子
Fig.1 Meteorological factors during rape growing season

1.2.4 产量等农艺性状 于盛花末期,每小区选取代表性样点5个,收割2行1.25 m长即1 m²,称质量记为鲜饲料产量。每点选取代表性样株5株,带回室内称取鲜质量,鼓风干燥箱105℃杀青30 min,75℃烘干后称质量,计算干物质产出率和干饲料产量。

1.2.5 品质指标 烘干样品用植物微型粉样机粉碎后过100目筛,近红外法测定粗蛋白质含量(CP)、酸性洗涤纤维含量(ADF)、中性洗涤纤维含量(NDF)、木质素含量($Lignin$)、淀粉含量($Starch$)、脂肪含量($Fate$)、灰分含量(Ash)、总可消化养分含量(TDN)、总脂肪酸含量(TFA),以及牛奶生产力(HM)、相对饲用价值(RFV)和相对饲料品质(RFQ)。

1.3 数据分析

采用Excel2016进行数据初处理,SPSS19.0进

行数据差异性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种饲用油菜生育期及生育期气象因子差异

由表1可知,白菜型品种出苗期比甘蓝型品种提前3 d,返青期提前6~13 d。其中TY12返青最早,比其他品种早4~13 d;HYZ158最晚,比其他品种晚3~13 d。返青至现蕾天数为27~29 d,现蕾至始花天数为8~10 d,品种间差异未达显著水平,但是始花至收获期(盛花末期)天数白菜型比甘蓝型缩短1~6 d。白菜型品种比甘蓝型品种全生育期缩短10~15 d。TY12全生育期最短,为212 d;HYZ158全生育期最长,为222 d。返青至收获期白菜型比甘蓝型缩短3~5 d。

表1 不同饲用油菜品种的生育时期

Table 1 Growth stage of different forage rape varieties

品种	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	越冬期 (月-日)	返青期 (月-日)	蕾期 (月-日)	始花期 (月-日)	收获期 (月-日)
陇油 12(LY12)	09-24	09-28	11-25	03-03	04-01	04-09	05-01
天油 12(TY12)	09-24	09-28	11-25	02-28	03-27	04-07	04-28
华油杂 62(HYZ62)	09-24	10-01	11-25	03-09	04-07	04-17	05-10
饲油 2 号(SY2)	09-24	10-01	11-25	03-09	04-06	04-15	05-10
华油杂 158(HYZ158)	09-24	10-01	11-25	03-12	04-08	04-18	05-15

因油菜生育期差异,各生育时期的气象因子具有较大差异(表2)。越冬前白菜型品种的温度条件均优于甘蓝型品种,有效积温量(GDD)增加35.1℃·d,日照时数(SH)增加9.5 h。由于白菜型品种返青早,其越冬至返青阶段的 GDD 显著低于甘蓝型

品种,减少24.9~53.5℃·d,同时 SH 缩短43.60~82.00 h($P<0.05$),降雨量(RF)减少2.80~15.50 mm。返青至收获阶段,由于白菜型比甘蓝型缩短3~5 d,白菜型品种 GDD 比甘蓝型减少130.10~178.80℃·d, SH 减少6.3~28.9 h, RF 减少25.3~

38.00 mm。

2.2 饲用油菜产量和农艺性状及其与气象因子的相关性

从表 3 可以看出,不同品种油菜的鲜饲料产量(*FFY*)和干饲料产量(*DFY*)具有显著差异,TY12 的产量最高,而 HYZ158 的产量最低。与 HYZ158 相比,其他 4 个品种的 *FFY* 分别增产 35.0%、136.0%、64.9%、

30.0%,*DFY* 分别增产 33.9%、124.6%、52.3%、37.1%。白菜型品种的越冬性显著优于甘蓝型品种,越冬率(*WR*)提高 50.6%。TY12 的 *WR* 最高,为 40.0%,冬后密度(*PD*)达 1 hm^2 6.195×10^5 株;HYZ158 的 *WR* 最低,仅为 23.6%,*PD* 为 1 hm^2 3.889×10^5 株。白菜型油菜比甘蓝型油菜的株高显著增高 30.8%,TY12 的株高达 124.8 cm, HYZ158 仅为 81.3 cm。

表 2 饲用油菜不同生育期气象因子差异

Table 2 Difference of meteorological factors in different growth stages of forage rape

生育期	品种	日均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	日最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)	日最低温度 ($^{\circ}\text{C}$)	有效积温量 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)	日照时数 (h)	降雨量 (mm)
出苗-越冬	LY12	11.54	16.42	5.20	553.20	311.10	13.20
	TY12	11.54	16.42	5.20	553.20	311.10	13.20
	HYZ62	10.90	16.08	4.86	518.10	301.60	13.20
	SY2	10.90	16.08	4.86	518.10	301.60	13.20
	HYZ158	10.90	16.08	4.86	518.10	301.60	13.20
越冬-返青	LY12	-1.21	4.39	-5.55	-120.00	610.05	32.60
	TY12	-1.38	4.30	-5.78	-131.20	594.25	31.90
	HYZ62	-0.91	4.61	-5.23	-95.10	653.65	35.40
	SY2	-0.91	4.61	-5.23	-95.10	653.65	35.40
	HYZ158	-0.72	4.79	-5.04	-77.70	676.25	47.40
返青-收获	LY12	11.02	16.88	5.37	650.10	549.90	34.60
	TY12	10.14	15.89	4.66	618.80	542.30	35.30
	HYZ62	12.66	18.49	7.17	797.60	571.20	72.60
	SY2	12.66	18.49	7.17	797.60	571.20	72.60
	HYZ158	13.00	18.87	7.45	780.20	548.60	60.60

各品种见表 1。

表 3 饲用油菜产量及农艺性状

Table 3 Yield and agronomic traits of forage rape

品种	鲜饲料产量 (Mg/hm^2)	干饲料产量 (Mg/hm^2)	越冬率 (%)	冬后密度 ($\times 10^4$ 株, 1 hm^2)	株高 (cm)
LY12	25.5 \pm 3.8c	3.9 \pm 0.6b	35.7 \pm 7.7a	55.3 \pm 11.9ab	117.0 \pm 11.4ab
TY12	44.5 \pm 2.2a	6.5 \pm 0.3a	40.0 \pm 5.5a	62.0 \pm 8.5a	124.8 \pm 18.6a
HYZ62	31.1 \pm 3.0b	4.4 \pm 0.4b	26.8 \pm 0.9b	44.2 \pm 1.4bc	101.5 \pm 4.3bc
SY2	24.5 \pm 1.8cd	4.0 \pm 0.3b	25.0 \pm 3.3b	41.2 \pm 5.4c	94.5 \pm 3.1cd
HYZ158	18.9 \pm 0.4d	2.9 \pm 0.1c	23.6 \pm 1.2b	38.9 \pm 1.9c	81.3 \pm 2.8d

各品种见表 1。同一列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

分析不同类型油菜产量及农艺性状与气象因子的相关关系可看出(表 4),饲用油菜的鲜饲料产量和干饲料产量与冬前温度和日照时数呈正相关关系($P > 0.05$),究其原因在于油菜的越冬率、冬后密度和株高与冬前温度和日照时数呈显著正相关关系,

说明温度增加和日照时数延长均能显著提高油菜的越冬率,从而增加冬后密度,使株高增高。冬前光照时间长、热量资源足可以促进油菜越冬前糖分积累,保证油菜越冬期的生理功能需求。饲用油菜的鲜饲料产量和干饲料产量与越冬期的温度和日照时数呈

负相关关系($P>0.05$),在于越冬期的温度和日照时数与油菜的越冬率、冬后密度和株高呈极显著负相关关系。原因可能是越冬期温度升高和日照时数增加,会导致油菜发生潜在生理性变化,如遇低温($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下)后生理伤害增强,冻死率增高而越冬率降低,所以返青后密度降低。返青后,油菜株高与

温度、日照时数和降雨量均呈现显著负相关关系,说明温度增加、有效积温量增加、日照时数延长和降雨量增加对油菜的株高具有副作用,导致返青后温度和降雨与鲜饲料产量和干饲料产量呈负相关关系,其中鲜饲料产量与返青后日照时数呈极显著负相关关系。

表 4 饲用油菜产量及农艺性状与气象因子的相关性

Table 4 Correlation of yield and agronomic traits of forage rape with meteorological factors

生育期	气象因子	鲜饲料产量 (FFY)	干饲料产量 (DFY)	越冬率 (WR)	冬后密度 (PD)	株高 (PH)
出苗-越冬	T_{av}	0.436	0.081	0.733 **	0.797 **	0.791 **
	T_{max}	0.436	0.081	0.733 **	0.797 **	0.791 **
	T_{min}	0.436	0.081	0.733 **	0.797 **	0.791 **
	GDD	0.436	0.081	0.733 **	0.797 **	0.791 **
	SH	0.436	0.081	0.733 **	0.797 **	0.791 **
	RF	a	a	a	a	a
越冬-返青	T_{av}	-0.439	-0.037	-0.681 **	-0.744 **	-0.684 **
	T_{max}	-0.351	-0.012	-0.622 *	-0.706 **	-0.639 *
	T_{min}	-0.485	-0.047	-0.705 **	-0.755 **	-0.696 **
	GDD	-0.391	-0.025	-0.653 **	-0.728 **	-0.665 **
	SH	-0.412	-0.036	-0.679 **	-0.751 **	-0.698 **
	RF	0.183	0.906	0.005	0.001	0.004
返青-收获	T_{av}	-0.552	-0.079			-0.765 **
	T_{max}	-0.562	-0.079			-0.759 **
	T_{min}	-0.53	-0.08			-0.774 **
	GDD	-0.562	-0.111			-0.823 **
	SH	-0.746 **	-0.235			-0.778 **
	RF	-0.526	-0.134			-0.835 **

T_{av} :日均温度; T_{max} :日最高温度; T_{min} :日最低温度;SH:日照时数;RF:降雨量;GDD:有效积温量。**:在 0.01 水平(双侧)上显著相关*; *:在 0.05 水平(双侧)上显著相关。a:因为至少有一个变量为常量,所以无法进行计算。

2.3 饲用油菜品质及其与产量和气象因子的相关性

分析不同类型油菜饲用品质成分可以看出(表 5),甘蓝型品种粗蛋白质、脂肪、灰分和总脂肪酸含量显著高于白菜型品种,分别提高 27.6%、42.9%、23.9%和 52.3%,酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量分别显著减少 9.7%和 9.5%。综合评价,油菜饲用品质甘蓝型品种显著优于白菜型品种,牛奶生产力(HM)、相对饲用价值(RFV)和相对饲料品质(RFQ)分别提高 14.0%、16.2%和 42.1%。

LY12 和 TY12 的粗蛋白质和总脂肪酸含量无差

异,但显著低于 HYZ62、SY2 和 HYZ158。LY12 和 TY12 的 ADF 和 NDF 含量显著高于 HYZ158, TY12 木质素含量最低,LY12 淀粉、脂肪和灰分含量均显著低于其他 4 个品种。品种间总可消化养分(TDN)含量无显著差异。因饲用品质性状的差异, HYZ158 饲用品质综合评价最优,其 HM、RFV 和 RFQ 均最高,其中 RFV 和 RFQ 显著高于其他 4 个品种。

由油菜饲用品质性状间的相关性分析可知(表 6),粗蛋白质含量与 ADF 和 NDF 含量呈显著负相关关系,与脂肪含量呈显著正相关关系; ADF 仅与 NDF 呈极显著正相关关系,脂肪含量与灰分和总脂肪酸含量呈极显著正相关关系。

表 5 不同品种饲用油菜的青贮品质

Table 5 Silage quality of different varieties of forage rape

品种	粗蛋白 (%)	酸性洗 涤纤维 (%)	中性洗 涤纤维 (%)	木质素 (%)	淀粉 (%)	脂肪 (%)	灰分 (%)	总脂肪酸 (%)	总可消 化养分 (%)	牛奶 生产力 (kg/Mg)	相对饲 用价值	相对饲 料品质 (%)
LY12	13.8±0.6c	37.3±1.6a	45.7±2.0a	6.3±0.3a	1.9±0.1c	2.4±0.1c	7.0±0.3c	1.6±0.1b	62.0±2.7a	1425±61b	122±5c	89±4d
TY12	13.9±0.4c	36.1±1.2a	44.4±1.4a	4.9±0.2b	3.7±0.1a	2.5±0.1c	8.1±0.3b	1.4±0.1b	63.0±2.0a	1477±47b	127±4bc	102±3c
HYZ62	17.2±0.4ab	34.3±0.9ab	42.7±1.1a	6.1±0.2a	2.3±0.1b	3.7±0.1a	9.9±0.2a	2.3±0.2a	62.0±1.6a	1598±40ab	135±3bc	123±3b
SY2	16.6±0.7b	34.2±1.4ab	42.3±1.7a	6.1±0.2a	2.4±0.1b	3.1±0.1b	8.4±0.3b	2.1±0.1a	63.0±2.6a	1593±65ab	137±6b	120±5b
HYZ158	19.2±0.4a	30.9±0.7b	37.4±0.9b	5.9±0.1a	3.5±0.1a	3.7±0.1a	9.8±0.2a	2.4±0.1a	64.0±1.5a	1773±41a	162±4a	164±4a

各品种见表 1。

表 6 饲用油菜青贮品质间的相关关系

Table 6 Correlation among silage quality of forage rape

项目	CP	ADF	NDF	Lignin	Starch	Fate	Ash	TFA	TDN	HM	RFV	RFQ
CP	1.000	-0.964 **	-0.936 *	0.315	0.208	0.946 *	0.867	0.944 *	0.563	0.978 **	0.928 *	0.958 *
ADF		1.000	0.992 **	-0.106	-0.439	-0.856	-0.816	-0.828	-0.757	-0.998 **	-0.986 **	-0.997 **
NDF			1.000	-0.088	-0.475	-0.799	-0.756	-0.769	-0.804	-0.987 **	-0.999 **	-0.995 **
Lignin				1.000	-0.823	0.314	0.046	0.486	-0.345	0.154	0.103	0.097
Starch					1.000	0.104	0.307	-0.064	0.777	0.391	0.468	0.454
Fate						1.000	0.957 *	0.970 **	0.325	0.881 *	0.783	0.852
Ash							1.000	0.864	0.351	0.832	0.734	0.819
TFA								1.000	0.284	0.858	0.754	0.813
TDN									1.000	0.719	0.805	0.753
HM										1.000	0.980 **	0.995 **
RFV											1.000	0.991 **
RFQ												1.000

CP:粗蛋白质含量;ADF:酸性洗涤纤维含量;NDF:中性洗涤纤维含量;Lignin:木质素含量;Starch:淀粉含量;Fate:脂肪含量;Ash:灰分含量;TFA:总脂肪酸含量;TDN:总可消化养分;HM:牛奶生产力;RFV:相对饲用价值;RFQ:相对饲料品质。**:在 0.01 水平(双侧)上显著相关;* :在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

分析油菜饲用评价指标可看出,牛奶生产力、相对饲用价值和相对饲料品质与粗蛋白质含量呈极显著正相关关系,说明粗蛋白质含量越高,油菜饲用品质越优。但牛奶生产力、相对饲用价值和相对饲料品质与 ADF 和 NDF 含量均呈极显著负相关关系,说明油菜纤维含量越高,饲用品质越差。同时,牛奶生产力与脂肪含量呈极显著正相关,说明脂肪含量增加可以显著提高油菜饲用的牛奶生产力,但对相对饲用价值和相对饲料品质无影响。

由表 7 可知,油菜鲜饲料产量和干饲料产量与 ADF 和 NDF 含量呈正相关关系($P>0.05$),而鲜饲料产量和干饲料产量与饲用品质性状粗蛋白

质、脂肪和总可消化养分含量及饲用品质指标牛奶生产力、相对饲用价值和相对饲料品质间均呈负相关关系($P>0.05$),说明油菜饲用产量提高过程中伴随着纤维(ADF 和 NDF)含量的增加,纤维含量增加导致饲用品质降低。油菜冬后密度与粗蛋白和总脂肪酸含量呈显著负相关关系,说明油菜群体密度越大,粗蛋白质和总脂肪酸含量越低,饲用品质就越差。油菜株高与粗蛋白质和总脂肪酸含量呈显著负相关关系,与 ADF 和 NDF 含量呈显著正相关关系,说明油菜群体株高越高,粗蛋白质和总脂肪酸含量越低,而纤维含量越高,油菜的饲用品质就越差。

表 7 饲用油菜的青贮品质与产量及农艺性状的相关关系

Table 7 Correlation of silage quality with yield and agronomic traits of forage rape

品质指标	鲜饲料产量 (FFY)	干饲料产量 (DFY)	冬后密度 (PD)	株高 (PH)
CP	-0.653	-0.713	-0.917 *	-0.957 *
ADF	0.607	0.655	0.818	0.917 *
NDF	0.635	0.679	0.778	0.901 *
Lignin	-0.707	-0.721	-0.595	-0.467
Starch	0.23	0.222	0.135	-0.07
Fate	-0.451	-0.534	-0.858	-0.842
Ash	-0.203	-0.294	-0.687	-0.694
TFA	-0.598	-0.665	-0.949 *	-0.905 *
TDN	-0.412	-0.399	-0.373	-0.573
HM	-0.622	-0.674	-0.844	-0.931 *
RFV	-0.654	-0.697	-0.769	-0.898 *
RFQ	-0.596	-0.649	-0.793	-0.901 *

青贮品质指标见表 6 注。*: 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

由表 8 可以看出,油菜粗蛋白质、脂肪和总脂肪酸含量与越冬前温度和日照时数呈极显著负相关关系,而与越冬期和返青后温度以及越冬期日照时数和降雨量呈极显著正相关关系,说明增加后期温度可提高油菜的粗蛋白质、脂肪和总脂肪酸含量。ADF 含量与越冬期日最高温度、有效积温量、日照时数和降雨量呈极显著负相关关系,NDF 含量仅与越冬期日最高温度和降雨量呈极显著负相关关系,说明越冬期日均最高温越低、日照时数越短、降雨量越少,纤维含量越高。木质素、淀粉、灰分和总可消化养分含量与油菜生长季气象因子无相关关系。油菜的牛奶生产力、相对饲用价值和相对饲料品质与越冬前的气象因子无相关关系;牛奶生产力与越冬期温度、日照时数和降雨量均呈显著正相关关系,而相对饲用价值和相对饲料品质仅与日最高温度和降雨量呈显著正相关关系,说明越冬期日均最高温越高、日照时数越长、降雨量越多,油菜饲料品质越优。

表 8 饲用油菜的青贮品质与产量及农艺性状的相关关系

Table 8 Correlation of silage quality with yield and agronomic traits of forage rape

生育期	气象因子	CP	ADF	NDF	Lignin	Starch	Fate	Ash	TFA	TDN	HM	RFQ	RFV
出苗-越冬	T_{av}	-0.908 *	0.806	0.738	-0.428	0.046	-0.919 *	-0.813	-0.973 **	-0.327	-0.831	-0.774	-0.716
	T_{max}	-0.908 *	0.806	0.738	-0.428	0.046	-0.919 *	-0.813	-0.973 **	-0.327	-0.831	-0.774	-0.716
	T_{min}	-0.908 *	0.806	0.738	-0.428	0.046	-0.919 *	-0.813	-0.973 **	-0.327	-0.831	-0.774	-0.716
	GDD	-0.908 *	0.806	0.738	-0.428	0.046	-0.919 *	-0.813	-0.973 **	-0.327	-0.831	-0.774	-0.716
	SH	-0.908 *	0.806	0.738	-0.428	0.046	-0.919 *	-0.813	-0.973 **	-0.327	-0.831	-0.774	-0.716
	RF	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
越冬-返青	T_{av}	0.960 **	-0.875	-0.845	0.557	-0.052	0.898 *	0.744	0.958 *	0.423	0.898 *	0.861	0.84
	T_{max}	0.979 **	-0.919 *	-0.897 *	0.48	0.05	0.902 *	0.767	0.945 *	0.505	0.938 *	0.910 *	0.893 *
	T_{min}	0.943 *	-0.846	-0.815	0.603	-0.108	0.885 *	0.72	0.956 *	0.379	0.872	0.832	0.811
	GDD	0.973 **	-0.901 *	-0.873	0.512	0.005	0.904 *	0.763	0.955 *	0.467	0.922 *	0.889 *	0.869
	SH	0.969 **	-0.889 *	-0.854	0.512	-0.015	0.915 *	0.776	0.969 **	0.439	0.912 *	0.873	0.846
	RF	0.884 *	-0.937 *	-0.968 **	0.187	0.402	0.724	0.652	0.698	0.759	0.934 *	0.953 *	0.979 **
返青-收获	T_{av}	0.915 *	-0.795	-0.747	0.617	-0.179	0.891 *	0.728	0.973 **	0.291	0.825	0.772	0.736
	T_{max}	0.912 *	-0.79	-0.744	0.634	-0.192	0.885 *	0.717	0.968 **	0.286	0.821	0.769	0.735
	T_{min}	0.920 *	-0.803	-0.75	0.581	-0.151	0.903 *	0.751	0.979 **	0.302	0.832	0.779	0.738
	GDD	0.863	-0.729	-0.657	0.548	-0.196	0.885 *	0.748	0.965 **	0.210	0.760	0.695	0.637
	SH	0.363	-0.153	-0.047	0.579	-0.593	0.506	0.378	0.632	-0.348	0.195	0.102	0.017
	RF	0.773	-0.637	-0.546	0.439	-0.186	0.838	0.738	0.910 *	0.134	0.666	0.593	0.516

各气象因子见表 4 注,青贮品质指标见表 6 注。**: 在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*: 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。a: 因为至少有一个变量为常量,所以无法进行计算。

3 讨论

饲料油菜种植技术简便、生长速率快、鲜饲料产量高、饲用效果好,属于优质青粗饲料资源,北方秋播具有节水和生态涵养功能^[17-18]。调整油菜生长季的光温资源,缩短油菜的总生育天数,油菜产量及粗脂肪、纤维和粗灰分含量呈现降低趋势,蛋白质含量升高^[3]。适当早播可显著提高油菜生物量^[19-20],提高油菜的品质^[21]。刘明等研究结果^[22]表明,密度过高导致植株茎秆纤细、早衰,降低产量。本研究结果表明,油菜越冬率及越冬后群体密度与冬前温度和日照时数呈显著正相关关系,说明温度增加和日照延长均能显著提高油菜的越冬率;越冬期温度越低和日照时数越短,油菜越冬率越低,返青后群体密度显著降低。白菜型品种生育期比甘蓝型品种缩短10~15 d,越冬率提高50.6%,返青后群体密度提高41.5%,株高显著增加30.8%。白菜型品种越冬性较强,冬后密度较大,天油12鲜饲料产量和干饲料产量最高,分别为44.5 Mg/hm²和6.5 Mg/hm²;甘蓝型品种华油杂158越冬率较低,冬后密度降低至1 hm² 4.0×10⁵株以下,鲜饲料产量低于20 Mg/hm²;甘蓝型品种华油杂62冬后密度为1 hm² 4.42×10⁵株,鲜饲料产量和干饲料产量分别为31.1 Mg/hm²和4.4 Mg/hm²。饲用油菜产量(鲜饲料产量和干饲料产量)形成过程中,越冬前的光热资源对产量形成具有积极影响,究其原因可能在于提高越冬前温度、延长光照时间能促进油菜越冬前糖分积累,保证油菜越冬期的生理功能需求,提高油菜的越冬率及返青后密度,进而提高产量。越冬后热量资源增加、日照时数延长和降雨量增加,导致油菜株高降低,株高降低导致油菜产量降低,因此油菜饲用产量与返青后光温水资源呈负相关关系。因此,在华北平原油菜饲用产量形成过程中,要提高油菜在越冬期和返青后对温度的抗逆性,通过化学调控等栽培措施提高越冬率和株高,从而提高返青后密度,提高产量。

油菜播期提前可延长生育期天数,增加养分积累,提高青贮品质^[9];刈割时期决定了油菜的饲用产量与品质^[23],初花期刈割饲用油菜粗蛋白质、粗脂肪含量最高,开花期以后刈割油菜茎秆粗纤维含量增多,饲喂品质降低^[13]。本研究结果表明,甘蓝型品种粗蛋白质、脂肪、灰分和总脂肪酸含量显著高

于白菜型品种,酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量低于白菜型品种,牛奶生产力(HM)、相对饲用价值(RFV)和相对饲料品质(RFQ)显著高于白菜型品种,甘蓝型品种综合饲用品质显著优于白菜型品种。油菜粗蛋白质、脂肪和总脂肪酸含量与越冬前温度和日照时数呈极显著负相关关系,而与越冬期和返青后温度以及越冬期日照时数呈极显著正相关关系,说明增加后期温度可提高油菜的粗蛋白质、脂肪和总脂肪酸含量。ADF含量与越冬期日最高温度、有效积温量、日照时数和降雨量呈极显著负相关关系,NDF含量仅与越冬期日最高温度和降雨量呈极显著负相关关系,说明越冬期日均最高温越低、日照时数越短、降雨量越少,纤维含量越高。木质素、淀粉、灰分和总可消化养分含量与油菜生长季气象因子无相关关系。油菜的HM、RFV和RFQ与越冬前和返青后的气象因子无相关关系;HM与越冬期温度、日照时数和降雨量均呈极显著正相关关系,而RFV和RFQ仅与日最高温度和降雨量呈极显著正相关,说明越冬期日均最高温度越高、日照时数越长、降雨量越多,油菜饲料品质越优。本研究结果表明,油菜饲用产量(鲜饲料产量和干饲料产量)与纤维含量(酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维)呈正相关关系($P>0.05$),而鲜饲料产量和干饲料产量与饲用品质性状粗蛋白、脂肪和总可消化养分含量及饲用品质指标牛奶生产力、相对饲用价值、相对饲料品质间均呈负相关关系($P>0.05$),说明油菜饲用产量提高过程中伴随着纤维含量的增加,纤维含量越高,动物的适口性就越差,饲用品质越低。因此,在油菜饲用产量提高过程中需要通过调整密度、收获期等栽培措施协同降低纤维含量,提高饲用品质,在增产过程中达到优质目的。

总之,在华北平原秋播饲用油菜种植中为提高越冬率应选用白菜型品种,为提高饲用品质应选用甘蓝型品种,要兼顾越冬率和饲用品质可选用甘蓝型品种华油杂62。

参考文献:

- [1] 李 纯,傅廷栋,杨小牛. 春播油菜绿肥试验简报[J]. 湖北农业科学, 1987(1): 10-11.
- [2] 汪 波,宋丽君,王宗凯,等. 我国饲料油菜种植及应用技术研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 695-701.
- [3] 毕影东,刘 明,周广生,等. 黑龙江省饲料油菜品种筛选与种植技术研究[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(6): 835-841.

- [4] 杨 涛,次仁云旦,陈 航,等. 品种、播期、播量和施肥量对青饲油菜鲜草产量的影响[J]. 西藏农业科技, 2016, 38(4): 17-19.
- [5] 张 垚,葛均筑,杨永安,等. 播期对春播饲用油菜全株生物产量和营养品质的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(11): 63-67, 75.
- [6] 高桂珍,李 浩,陈碧云,等. 北方春播甘蓝型油菜生育期产量及品质的初步研究[J]. 河北农业科学, 2018, 22(6): 41-46.
- [7] 杨雪海,郭万正,黄少文,等. 不同生长阶段的油菜饲用营养价值评价研究[J]. 饲料工业, 2017, 38(21): 19-22.
- [8] 傅廷栋,涂金星,张 毅,等. 在我国西北部地区麦后复种饲料油菜的研究与利用[J]. 中国西部科技, 2004(6): 4-7.
- [9] 刘 明,肖佳雷,李 炜,等. 不同播期对北方寒地麦后复种饲料油菜产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(36): 12933-12934.
- [10] 杨瑞吉. 麦茬复种饲料油菜的播种量对其生长性状的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(4): 479-482.
- [11] 杨瑞吉,王开柏,袁政祥,等. 不同施氮水平对麦茬复种饲料油菜生长性状的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 16(2): 46-50, 79.
- [12] 甘兴华,李 雯,刘水华,等. 7 种饲料油菜的品比试验与分析[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2012(6): 33-36.
- [13] 马乐天,马小明,马吉峰,等. 麦后复种饲用油菜试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012(4): 104-105.
- [14] PIRJO P S, LAURI J, MIROSLAV T, et al. Coincidence of variation in yield and climate in Europe[J]. Agric Ecosyst Environ, 2010, 139(4): 483-489.
- [15] 吴丽丽,李谷成,尹朝静. 生长期气候变化对我国油菜单产的影响研究:基于 1985-2011 年中国省域面板数据的实证分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(12): 198-203.
- [16] 张树杰,王汉中. 我国油菜生产应对气候变化的对策和措施分析[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 114-122.
- [17] 杨瑞吉,马海灵,杨祁峰,等. 种植密度与施氮量对麦茬复种饲料油菜土壤微生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 113-117.
- [18] 王洪超,刘大森,刘春龙,等. 饲料油菜及其饲用价值研究进展[J]. 土壤与作物, 2016, 5(1): 60-64.
- [19] 胡 敏,李小坤,王 振,等. 播期对油菜绿肥生物量及养分积累的影响[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(4): 657-660.
- [20] 冯洁琼,戎国增,张 瑞,等. 鱼虾塘种植油菜不同播种期试验研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(19): 84-85.
- [21] RATAJCZAK K K, SULEWSKA H H, SZYMANSKA G. New winter oil seed rape varieties-seed quality and morphological traits depending on sowing date and rate [J]. Plant Production Science, 2017, 20(3): 1-11.
- [22] 刘 明,来永才,毕影东,等. 种植密度与采收时期对复种饲用油菜产量和品质的影响[J]. 饲料研究, 2019, 42(8): 96-99.
- [23] 赵 娜,杨雪海,魏金涛,等. 不同生长期饲用油菜的营养价值和青贮发酵品质[J]. 草业科学, 2020, 37(5): 933-941.

(责任编辑:张震林)