

李超,高丽,王育青,等.用灰色关联系数法对9个苜蓿品种在田间旱作条件下叶绿素荧光、水分及生产特性的综合评价[J].江苏农业科学,2019,47(5):156-161.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.05.039

# 用灰色关联系数法对9个苜蓿品种在田间旱作条件下叶绿素荧光、水分及生产特性的综合评价

李超<sup>1</sup>,高丽<sup>2</sup>,王育青<sup>2</sup>,闫志坚<sup>2</sup>,朱勇<sup>3</sup>

(1.重庆市江津区畜牧兽医局柏林站,重庆 402247; 2.中国农业科学院草原研究所/农业部草地资源与生态重点开发实验室,内蒙古呼和浩特 010010; 3.西藏农牧科学院畜牧兽医研究所,西藏拉萨 850009)

**摘要:**在田间旱作条件下,对9个苜蓿品种分枝期、现蕾期和初花期的叶绿素荧光参数、叶片水势进行观测,并应用灰色关联度分析研究比较这些指标。结果表明:(1)叶片水势方面。各茬分枝期不同苜蓿品种叶片水势维持在较高水平,品种间差异不显著,花期品种间差异最大,其中准格尔苜蓿叶片水势较高,表现较优,其次是敖汉苜蓿、中苜1号和草原2号,较差的为公农1号、肇东苜蓿。(2)叶绿素荧光方面。基于聚类分析对9个苜蓿品种叶绿素荧光指标进行综合评价,可以分为两大类,荧光特性较优的一类为草原2号、准格尔苜蓿、敖汉苜蓿、中苜1号和龙牧801,荧光特性较差的一类为甘农3号、肇东苜蓿、公农1号和龙牧803。(3)生产特性方面。中苜1号和龙牧803年产量较优,准格尔苜蓿和敖汉苜蓿产量较差。(4)灰色关联系数法综合评价显示,表现较好的品种依次为龙牧801、准格尔苜蓿、中苜1号、草原2号和敖汉苜蓿,与参考品种加权关联度在0.65~0.75之间;表现较差的为甘农3号、龙牧803、公农1号和肇东苜蓿,加权关联度在0.35~0.55之间。

**关键词:**苜蓿;田间旱作;叶片水势;叶绿素荧光参数;生产特性;灰色关联度分析;综合评价

**中图分类号:**S551<sup>+</sup>.703.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)05-0156-06

我国国土面积中干旱、半干旱地区占56%,降水稀少,农作物生产力较低,属于生态环境脆弱区。干旱已成为限制草地畜牧业生产的一个主要因子,作为牧草之王,苜蓿的品质、生产能力和抗逆性等优势将在该区域大有作为;另一方面应加快引种优势品种,加强品种更新来满足该区域苜蓿产业化发展。

通过国内引进的不同苜蓿品种的叶绿素荧光参数的特征和水分生理指标特性,来观测和研究不同苜蓿品种在干旱地区的适应性能力,结合这些品种的产量性能选取某一综合评价法进行分析和评价,筛选出既能适应半干旱、干旱地区又能保证产量品质的苜蓿品种。

本研究应用近年较为认可的灰色关联系数法,综合评价适合在干旱条件下种植的9个苜蓿品种,为较干旱地区选择适合推广利用的苜蓿品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于内蒙古呼和浩特市土默特左旗沙尔沁镇的中国农业科学院草原研究所农牧交错试验示范基地(以下简称

示范基地),其地理位置为40°34′39″~40°35′41″N、111°34′39″~111°47′06″E,海拔1 055 m,属大陆性半干旱气候,干旱、寒冷、多风沙。年平均气温5.8~6.3℃,7月极端高温37.3℃,1月极端低温-32.8℃,≥10℃积温2 700℃以上,无霜期130 d左右,年平均降水量350~450 mm。试验地属于沙质脱潜育土,pH值8.5左右,土壤贫瘠,含盐量0.03%,有机质含量0.6%,含氮量0.035%。

### 1.2 试验材料

为了保证测试品种生长环境条件的一致性,在示范基地选取生长于相同立地条件的9个苜蓿品种作为测试材料(表1)。供试品种株龄2年。

### 1.3 测定项目

**1.3.1 大田指标的测定** 叶绿素荧光参数测定:使用英国产Handy PEA进行测定,于08:00测定相同叶位叶片(植株顶端第1张完全展开3叶的中间小叶)。测定前,用叶夹暗适应叶片20 min,每2 h测定1次。每个品种重复6次。

叶片水势测定:采用WP4(Decagon Devices, Inc. USA)植物水势仪,于08:00选取照光均一、生长健康、长势一致的同叶位叶片(植株顶端第1张完全展开3叶中间小叶)。每2 h测定1次,每个品种3次重复。

叶绿素相对含量:用SPAD-502型叶绿素计测定相同叶位叶片(植株顶端第1张完全展开3叶中间小叶)。每10 d测定1次,每个品种重复10次。

形态与品质指标测定:株高、单株分枝数、叶面积、主茎直径、茎叶比、鲜干比、产草量等。

**1.3.2 室内测定** 叶片相对含水量<sup>[1]</sup>:随机选取苜蓿顶端第

收稿日期:2017-03-06

基金项目:西藏特色家畜选育与健康养殖专项牦牛健康养殖技术与技术集成示范课题(编号:Z2016B01N04);西藏自治区自然科学基金(编号:2016zr-15-49)。

作者简介:李超(1986—),男,重庆人,硕士,助理研究员,主要从事草地资源利用与保护研究。E-mail:lichao866560@hotmail.com。

表 1 9 个苜蓿品种材料来源

编号	品种名称	拉丁名	类型	材料来源
1	龙牧 803	<i>Medicago sativa</i> L. × <i>Melilotoides ruthenicus</i> (L.) Sojak cv. Longmu No. 803	紫花苜蓿与扁蓿豆 杂交种	黑龙江省畜牧研究所
2	龙牧 801	<i>M. ruthenicus</i> (L.) × <i>M. sativa</i> L. cv. Longmu No. 801	扁蓿豆与紫花苜蓿 杂交种	黑龙江省畜牧研究所
3	公农 1 号	<i>M. sativa</i> L. cv. Gongnong No. 1	紫花苜蓿	中国农业科学院草原研究所
4	中苜 1 号	<i>M. sativa</i> L. cv. Zhongmu No. 1	紫花苜蓿	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所
5	甘农 3 号	<i>M. sativa</i> L. cv. Gannong No. 3	紫花苜蓿	甘肃农业大学
6	肇东	<i>M. sativa</i> L. cv. Zhaodong	紫花苜蓿	黑龙江省畜牧研究所
7	敖汉	<i>M. sativa</i> L. cv. Aohan	紫花苜蓿	赤峰市畜牧兽医科学研究所
8	准格尔	<i>M. sativa</i> L. cv. Neimeng Zhungeer	紫花苜蓿	内蒙古自治区草原站
9	草原 2 号	<i>M. varia</i> Martin. cv. Caoyuan No. 2	杂花苜蓿	内蒙古农业大学

1 张完全展开 3 叶的中间小叶,装入封闭性较好的塑料小盒中,带回实验室称鲜质量。然后将叶片立即浸入水中 24 h,取出用滤纸吸干叶片表面水分,称饱和质量,然后置于烘箱内,105 ℃烘干 15 min,再于 65 ℃烘干至恒质量,称干质量,每个品种重复 3 次。参照以下公式计算叶片相对含水量:

叶片相对含水量 =  $(m_1 - m_2) / (m_3 - m_2) \times 100\%$ 。(1)  
式中: $m_1$  为叶片鲜质量,g; $m_2$  为叶片干质量,g; $m_3$  为叶片饱和质量,g。

叶片相对保水力:随机选取苜蓿顶端第 1 张完全展开 3 叶的中间小叶,快速装入封闭性较好的塑料小盒中,带回实验室称鲜质量。然后将样品平铺于空气相对湿度为 20% 的恒温箱内干燥,温度设置为 20 ℃,分别于 1、3、6、9、24 h 取出定时称质量,最后置于烘箱,烘干至恒质量,温度设置为 65 ℃,称干质量,每个样品重复 3 次。参照以下公式计算叶片相对保水力:

叶片相对保水力 =  $(m_1 - m_2) / m_3 \times 100\%$ 。(2)  
式中: $m_1$  表示叶片鲜质量,g; $m_2$  表示定时称质量,g; $m_3$  表示叶片干质量,g。

细胞膜透性的测定(电导法):取各苜蓿品种同位鲜叶片,称取 0.1 g,用去离子水清洗干净,再用吸水纸吸干其表面的水分,然后剪成 1 cm 大小放入已清洗干净的试管中,加入 10 mL 的去离子水,自然浸泡 24 h,之后将各试管充分摇匀,用电导仪测其初电导率  $E_1$ ;加塞,在沸水浴中浸提 20 min,取出冷却至室温,摇匀、平衡后测定其终电导率  $E_2$  [2]。

相对电导率 =  $E_1 / E_2$ 。(3)  
式中: $E_1$  为初电导率,S/m; $E_2$  为终电导率,S/m。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2003、SAS V8.0 以及 OriginPro 8.0 等统计分析软件对数据进行分析和作图。采用聚类分析和灰色关联度分析法,评价品种的综合性能。

根据灰色系统理论,将所有参试性状或品种看作 1 个灰色系统,其中每一性状或品种都是该系统中的 1 个因素,系统中各因素关联度越大,因素间相似程度越高,越接近参试性状或品种 [3]。

选取 1 个参考性状或品种,其各项指标构成参考数列,计算参考数列中各性状的权重系数,而比较数列则由参试性状或品种的各项指标构成,根据权重系数计算各参试性状或品

种与参考性状或品种之间的关联度,从而确定性状或品种的优劣。

设  $X_0$  为参考数列, $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$  为比较数列,且  $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(N)\}$ ,  $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(N)\}$ ,将原始数据进行无量纲初始化处理,则

$$\zeta_i(k) = \frac{a + \rho b}{\Delta_i(k) + \rho b} \quad (4)$$

式中: $\zeta_i(k)$  为  $X_0$  与  $X_i$  在第  $k$  点的关联系数; $\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$  表示  $X_0$  数列与  $X_i$  数列在第  $k$  点的绝对值;最小绝对差  $a = \min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| = \min_i \min_k \Delta_i$ ;最大绝对差  $b = \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)| = \max_i \max_k \Delta_i$ ; $\rho$  为分辨系数,用于提高关联系数间的差异显著性,取值范围为 0 ~ 1。本研究共选取 15 个性状指标,其中指标 1 ~ 5 表示初始荧光( $F_0$ )、可变荧光( $F_v$ )、叶片 PS II 的潜在活性( $F_v/F_0$ )、叶片 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和叶片的光合性能指数(PI)等,这 5 个指标中对植物的抗逆性方面, $F_0$  越小越好,而  $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 、PI 越大越好;指标 6 ~ 9 表示水分指标中的叶片相对含水量、叶片保水力、叶片水势和细胞膜透性;指标 10 ~ 15 表示产量性状中的干草产量、茎叶比、干鲜比、主茎直径、单株分枝数和株高。 $X_0$  表示各理论最优指标的向量, $X_1 \sim X_9$  为 9 个苜蓿品种(下标序号对应各品种的序号)各指标向量。

将关联系数  $\zeta_i(k)$  代入公式

$$r_i = \sum_{k=1}^n W(k) \zeta_i(k) \quad (5)$$

式中: $r_i$  为每个性状或品种的关联度值; $W(k)$  为各指标的权重,其计算方法参考董寒青的方法 [4]。

2 结果与分析

2.1 各茬次不同生育期 08:00 叶片水势比较

从图 1 可以看出,植物经过整夜的水分调整恢复,08:00 叶片水势趋于稳定。第 1 茬和第 2 茬叶片水势整体趋势有明显区别,可能因为 2 茬在整个生长期土壤含水量差异较大;2 茬分枝期均保持较高的水平,进入现蕾期后开始缓慢下降,之后初花期又降低但第 1 茬规律不明显,可能与土壤水势有关,有待进一步分析研究。

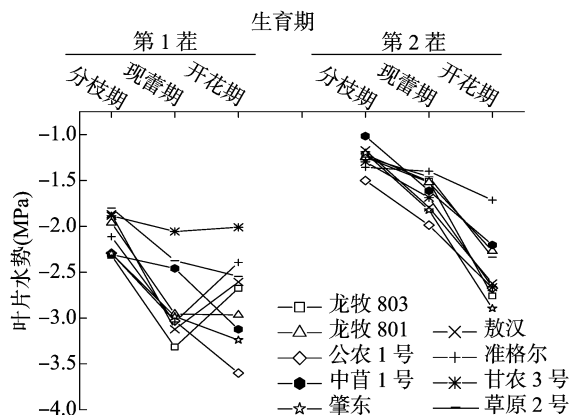


图1 不同苜蓿品种不同茬次各时期 08:00 叶片水势

第1茬分枝期水势较大的为草原2号(−1.80 MPa)、敖汉苜蓿(−1.87 MPa)、龙牧801(−1.96 MPa)、甘农3号(−1.88 MPa),分别比平均值高13.8% ( $P < 0.01$ )、10.53% ( $P < 0.05$ )、6.22% ( $P < 0.05$ )、10.47% ( $P > 0.05$ ),与准格尔苜蓿相比分别高14.69% ( $P < 0.01$ )、11.37% ( $P < 0.05$ )、10.05% ( $P < 0.05$ )、7.12% ( $P > 0.05$ );水势较小的为龙牧803(−2.32 MPa)、中苜1号(−2.31 MPa)、肇东苜蓿(−2.30 MPa)、公农1号(−2.29 MPa),品种间水势差别不显著,比准格尔苜蓿低9%。第2茬分枝期水势较大的为中苜1号(−1.02 MPa),比平均值高18.4% ( $P > 0.05$ ),较准格尔苜蓿高25% ( $P < 0.01$ );水势最小的为公农1号(−1.5 MPa),比平均值低20% ( $P < 0.01$ ),比准格尔苜蓿低10.29% ( $P > 0.05$ )。

第1茬现蕾期草原2号(−2.73 MPa)、甘农3号(−2.06 MPa)分别高于平均值26.95%、15.96% ( $P < 0.01$ ),分别高于准格尔苜蓿32.24%、22.04% ( $P < 0.01$ );水势较小的为龙牧803、敖汉苜蓿和准格尔苜蓿。第2茬现蕾期水势较大的为准格尔苜蓿(−1.4 MPa)、草原2号(−1.46 MPa),其次为龙牧803(−1.51 MPa)、龙牧801(−1.52 MPa)、中苜1号(−1.61 MPa),水势较小的为肇东苜蓿(−1.82 MPa)和公农1号(−1.99 MPa)。

第1茬花期水势较大的为甘农3号(−2.01 MPa)和准格尔苜蓿(−2.39 MPa),分别比平均值高28.21% ( $P < 0.01$ )、14.64% ( $P < 0.05$ );其次为草原2号(−2.55 MPa)、敖汉苜蓿(−2.61 MPa);水势较小的为公农1号(−3.6 MPa)和肇东苜蓿(−3.24 MPa),分别比平均值低28.57% ( $P < 0.01$ )、15.7% ( $P < 0.05$ ),分别比准格尔苜蓿低50.63%、35.56% ( $P < 0.01$ )。第2茬花期水势最高的为准格尔苜蓿(−1.71 MPa),极显著高于其他苜蓿品种,其次是中苜1号、龙牧801、草原2号,都在−2.2~−2.3之间,水势较低的为肇东苜蓿、公农1号、龙牧803等。

综上可以看出2茬不同生育期苜蓿品种的水势变动,因土壤含水量、降水等环境因素以及苜蓿在不同生育期的生理需水量不同而表现出差异性。整体上来看,第1茬规律不明显,第2茬准格尔苜蓿水势较高且稳定,其次是敖汉苜蓿;而水势较低的苜蓿为公农1号和肇东苜蓿。

## 2.2 苜蓿不同品种叶绿素荧光特性评价

苜蓿荧光特性受多种荧光特性指标综合作用的影响,对

9个苜蓿品种生长第2年的5个基本荧光特性指标如初始荧光、可变荧光、叶片PSⅡ的潜在活性( $F_v/F_o$ )、叶片PSⅡ最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和叶片的光合性能指数(PI)的日变化平均值标准化处理后,在SAS数据处理系统中选择最长距离法进行聚类。从图2聚类结果可以看出,选取相似系数 $L = 1.20$ 对所有品种分类,可以分为2类:第Ⅰ类,荧光特性较好,包括草原2号、准格尔苜蓿、敖汉苜蓿、中苜1号和龙牧801;第Ⅱ类,荧光特性较差,包括甘农3号、肇东苜蓿、公农1号和龙牧803。

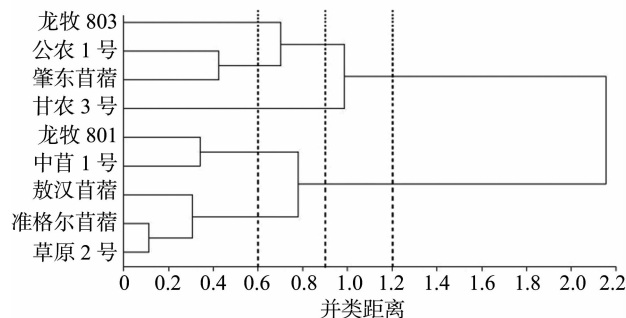


图2 不同苜蓿品种叶绿素荧光参数特性聚类分析

## 2.3 不同苜蓿品种产量性状分析

2.3.1 株高 株高是描述牧草生长状况反映牧草产量高低的较为理想的特征量,既是衡量草地生产力的重要指标,也是反映植物生长发育状况的重要指标。株高与产量呈正相关,分枝前苜蓿的株高生长缓慢,进入分枝期后其生长速度急剧加大,进入开花期生长几乎停止,株高达到最大值;在开花前,苜蓿生长速度和生长强度在变化趋势上基本一致。从图3可以看出,各苜蓿品种第1茬和第2茬的生长趋势基本一致,生长曲线近似直线,呈明显的上升趋势,未出现较大波动。第1茬返青时间在2011年4月20日左右,返青后生长缓慢,至5月14日第1次测株高时,9个苜蓿品种的株高差异极显著( $P < 0.01$ ),株高较高的有中苜1号、龙牧803、甘农3号、肇东苜蓿和草原2号,株高较低的为准格尔苜蓿和敖汉苜蓿。5月14日之后,随着温度逐渐升高,生长逐渐加快,9个苜蓿品种之间株高差异显著,总体而言,株高较高的为龙牧801、中苜1号、草原2号,而株高较低的为准格尔苜蓿、公农1号和敖汉苜蓿。第2茬的生长趋势与第1茬相似,不同的是第2茬生长周期短,刈割后生长较第1茬更快地进入分枝期。总体而言,株高较高的为中苜1号、龙牧801,较低为准格尔苜蓿、敖汉苜蓿和肇东苜蓿。

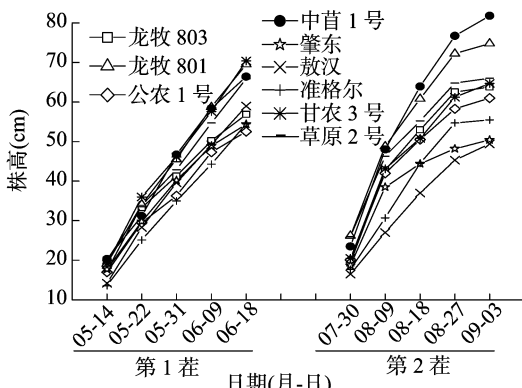


图3 不同苜蓿品种不同茬次株高的生长曲线

生长速率能在一定程度上反映牧草的生长能力。从图 4 中可以看出,各个苜蓿品种在第 1 茬生长速率趋势一致。4 月底返青后至 5 月中旬,生长速率整体缓慢,其中中苜 1 号和龙牧 803 生长较快,分别达 0.812、0.804 cm/d,而生长较慢为淮格尔苜蓿和敖汉苜蓿,分别为 0.544、0.568 cm/d,其余品种在 0.68~0.77 cm/d。随着温度升高,9 个苜蓿品种生长速率逐渐加快,龙牧 803、中苜 1 号、草原 2 号和甘农 3 号的生长速率较大,而淮格尔苜蓿、敖汉苜蓿和肇东苜蓿生长较为缓慢。第 2 茬这种差别更明显,草原 2 号的生长速率明显快于其他苜蓿品种,最大时达到 9.5 cm/d,其次是中苜 1 号和龙牧 801,生长较为缓慢的品种同样是敖汉苜蓿、肇东苜蓿和淮格尔苜蓿。

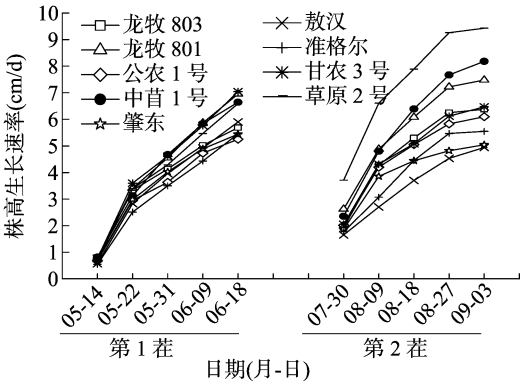


图4 不同苜蓿品种不同茬次株高的生长速率曲线

表 2 不同苜蓿品种的株高和产量比较

品种	株高 (cm)		干草产量 (kg/hm <sup>2</sup> )		
	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬	总产量
龙牧 803	59.6BCde	63.8Cb	2 655.25bc	2 193.44Cb	4 848.69BCbc
龙牧 801	69.5Aa	74.8ABa	3 826.90a	3 079.75ABa	6 906.65Aa
公农 1 号	52.5Ce	61.0Cbc	2 336.00c	2 057.58CDb	4 393.58BCbc
中苜 1 号	66.4ABab	81.8Aa	3 626.67ab	3 286.75Aa	6 913.42Aa
肇东苜蓿	54.5Cde	50.4Dd	2 335.50c	1 318.33Dc	3 653.83Cc
敖汉苜蓿	59.0BCede	49.4Dd	3 135.83abc	1 859.12CDbc	4 994.95BCb
淮格尔苜蓿	54.5Cde	55.5CDcd	2 819.24abc	1 980.62CDb	4 799.86BCbc
甘农 3 号	70.4Aa	64.7BCb	3 353.58abc	1 898.07CDbc	5 251.65ABCb
草原 2 号	65.9ABabc	66.0BCb	3 221.28abc	2 350.73BCb	5 572.01ABb
平均	61.37	63.04	3 034.47	2 224.92	5 259.40

注:采用 LSR 多重比较法,同列数据后不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

2.4 不同苜蓿品种叶绿素荧光指标、水分指标与产量性状的分析

本研究选用叶绿素荧光指标、水分指标与产量性状这 3 个层次指标对种植在阴山南麓的 9 个苜蓿品种进行评价。叶绿素荧光指标选取最基本的参数:初始荧光( $F_0$ )、可变荧光( $F_v$ )、叶片 PS II 的潜在活性( $F_v/F_0$ )、叶片 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和叶片的光合性能指数(PI),这 5 个指标中对植物的抗逆性方面, $F_0$  越小越好,而  $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 、PI 越大越好。水分指标包括叶片相对含水量、叶片保水力、叶片水势和细胞膜透性的测定。产量性状包括干草产量、茎叶比、干鲜比、主茎直径、单株分枝数和株高。最后将所有指标同一量纲,并将各指标转化为对总目标越大越好的方向,采用灰色关联系数法对 9 个苜蓿品种叶绿素荧光、水分指标和产量性状的得分进行排序,确定出不同品种的优劣顺序。

2.3.2 产量 产量是衡量苜蓿生产和经济性能的重要指标。由表 2 可知,第 1 茬各苜蓿品种间干草产量表现最好的为龙牧 801,达 3 826.90 kg/hm<sup>2</sup>,高于平均值 26.11%,高于当地品种淮格尔苜蓿 35.74%;其次为中苜 1 号,产量达 3 626.67 kg/hm<sup>2</sup>,高于平均值 19.52%,高于淮格尔苜蓿 28.64%;表现较差的为公农 1 号和肇东苜蓿,产量分别为 2 336.00、2 335.50 kg/hm<sup>2</sup>,分别低于平均值 23.02%、23.03%,与产量最高的龙牧 801 相比,分别低 38.96%、38.97%,同时分别低于当地品种淮格尔苜蓿 17.14%、17.16%。其余苜蓿品种的干草产量在 2 600~3 300 kg/hm<sup>2</sup>。第 2 茬苜蓿的干草产量中苜 1 号最高,为 3 286.75 kg/hm<sup>2</sup>,与其他苜蓿品种相比差异极显著( $P<0.01$ ),分别高于平均值和当地种淮格尔苜蓿 47.72%、65.95%;其次为龙牧 801;肇东苜蓿的干草产量最低,为 1 318.33 kg/hm<sup>2</sup>,分别低于平均值和淮格尔苜蓿 40.75%、33.44%。其余品种的干草产量在 1 800~2 400 kg/hm<sup>2</sup>。从年总产量上来看,中苜 1 号和龙牧 803 的年总产量较高,分别较淮格尔苜蓿高 44.03%、43.89% ( $P<0.01$ ),说明它们在当地的经济性能较好;肇东苜蓿的年总产量较低,较淮格尔苜蓿低 23.88% ( $P<0.01$ ),说明它在当地的经济性能较差。第 2 茬苜蓿的干草产量较第 1 茬苜蓿的干草产量低,第 1 茬生长周期长,对年总产量贡献最大,但第 2 茬的产量也对苜蓿年总产量产生很大的影响,也应该予以重视。

由于评价指标过多,笔者对产量和其他各指标做关联度分析,得到各指标权重,分别得到等权关联度和加权关联度值(表 3、表 4、表 5)。根据权重构造的苜蓿品种综合评价模型为:

$$r_i = \sum_{k=1}^n W(k) \zeta_i(k).$$

式中: $W(k)$  为各指标的权重; $\zeta_i(k)$  为关联系数(表 6)。

分别计算出各品种评价价值  $r_i$ ,由表 7 可知,表现较好的品种为龙牧 801、淮格尔苜蓿、中苜 1 号、草原 2 号和敖汉苜蓿,它们加权关联度在 0.65~0.75;表现较差的为甘农 3 号、龙牧 803、公农 1 号和肇东苜蓿,它们加权关联度在 0.35~0.55。对于表现较优的苜蓿品种可以在该地区优先考虑、重点考察、广泛推广,并能在旱作、低田间管理的条件下,有相对较好的产量;反之,对于表现较差的苜蓿品种不适合在该地区

表 3 各性状指标初始值无量纲化

向量	指标序号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_0$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$X_1$	0.989	0.967	0.963	0.989	0.888	0.884	0.775	0.791	0.853	0.949	0.836	0.916	0.762	0.814	0.695
$X_2$	0.999	0.989	1.000	1.000	0.960	0.927	0.791	0.861	0.890	0.956	0.919	0.917	1.000	0.974	0.987
$X_3$	0.956	0.969	0.945	0.981	0.826	0.864	0.735	0.771	0.662	0.888	0.749	0.952	0.529	0.766	0.637
$X_4$	0.979	0.986	0.970	0.993	0.924	0.919	0.793	0.902	0.928	0.881	1.00	0.976	0.909	1.000	1.000
$X_5$	0.948	0.962	0.933	0.971	0.782	0.852	0.589	0.728	0.940	0.889	0.656	0.939	0.607	0.707	0.504
$X_6$	0.989	1.000	0.995	0.998	0.933	0.938	0.884	0.902	1.000	1.000	0.941	0.855	0.766	0.731	0.692
$X_7$	0.992	0.995	0.994	0.999	0.875	1.000	1.000	1.000	0.785	0.994	0.917	0.827	0.824	0.742	0.677
$X_8$	0.958	0.980	0.964	0.986	0.944	0.930	0.876	0.933	0.660	0.912	0.789	1.00	0.787	0.912	0.725
$X_9$	1.000	0.995	0.998	0.998	1.000	0.928	0.744	0.924	0.946	0.947	0.847	0.985	0.758	0.890	0.789

表 4  $X_0$  对  $X_i$  的绝对差值  $\Delta i(k)$

向量	各指标 $\Delta i(k)$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_1$	0.010 4	0.032 7	0.036 9	0.010 4	0.111 1	0.115 9	0.224 8	0.209 5	0.146 5	0.050 0	0.164 5	0.083 0	0.237 7	0.185 6	0.305 2
$X_2$	0.000 3	0.010 9	0.000 0	0.000 0	0.039 8	0.072 8	0.208 9	0.138 7	0.109 9	0.043 8	0.080 9	0.082 7	0.000 0	0.026 3	0.012 9
$X_3$	0.043 8	0.030 5	0.054 2	0.019 4	0.173 0	0.135 3	0.265 0	0.228 9	0.337 8	0.111 7	0.251 3	0.048 5	0.471 3	0.234 1	0.366 3
$X_4$	0.020 2	0.014 1	0.029 9	0.006 1	0.075 0	0.081 1	0.206 4	0.097 8	0.072 2	0.118 5	0.000 0	0.023 7	0.090 2	0.000 0	0.000 0
$X_5$	0.051 9	0.037 9	0.066 8	0.028 2	0.217 2	0.148 0	0.410 7	0.272 3	0.059 6	0.110 5	0.343 9	0.061 3	0.393 4	0.292 9	0.495 9
$X_6$	0.010 7	0.000 0	0.004 7	0.001 0	0.066 1	0.062 3	0.115 7	0.097 7	0.000 0	0.000 0	0.059 1	0.144 7	0.233 6	0.268 6	0.307 6
$X_7$	0.007 2	0.004 1	0.005 4	0.000 2	0.124 9	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.214 6	0.005 9	0.082 9	0.173 5	0.176 2	0.257 8	0.323 3
$X_8$	0.042 3	0.019 9	0.035 1	0.013 3	0.055 6	0.069 9	0.123 6	0.067 0	0.339 7	0.088 0	0.211 4	0.000 0	0.213 1	0.088 4	0.275 4
$X_9$	0.000 0	0.004 8	0.001 1	0.001 4	0.000 0	0.071 1	0.255 7	0.075 7	0.053 4	0.053 0	0.153 1	0.014 9	0.241 8	0.109 9	0.211 5

表 5 各指标的最小绝对差、最大绝对差、关联系数及权重系数

项目	指标序号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最小绝对差	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
最大绝对差	0.051 9	0.037 9	0.066 8	0.028 1	0.217 2	0.148 0	0.265 0	0.272 3	0.339 7	0.118 5	0.343 9	0.173 5	0.471 3	0.292 9	0.495 9
关联系数	0.596 9	0.600 9	0.596 1	0.595 2	0.627 8	0.606 2	0.666 6	0.631 4	0.680 3	0.588 9	0.723 9	0.616 7	0.787 9	0.767 3	1.000 0
权重系数 $W(k)$	0.059 2	0.059 6	0.059 1	0.059 0	0.062 2	0.060 1	0.066 1	0.062 6	0.067 5	0.058 4	0.071 8	0.061 1	0.078 1	0.076 1	0.099 2

表 6 各指标与参考品种的关联系数

指标	关联系数														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_1$	0.713 5	0.367 5	0.475 0	0.576 0	0.494 4	0.389 6	0.370 9	0.393 9	0.537 0	0.542 2	0.511 1	0.510 9	0.497 8	0.441 1	0.448 3
$X_2$	0.990 1	0.634 9	1.000 0	1.000 0	0.731 8	0.504 1	0.388 1	0.495 4	0.607 3	0.575 1	0.680 2	0.512 0	1.000 0	0.847 6	0.950 6
$X_3$	0.372 5	0.383 4	0.381 7	0.420 4	0.385 6	0.353 6	0.333 3	0.372 9	0.334 6	0.346 6	0.406 2	0.641 6	0.333 3	0.384 8	0.403 7
$X_4$	0.562 2	0.573 1	0.528 2	0.697 9	0.591 4	0.477 1	0.390 9	0.581 8	0.701 8	0.333 3	1.000 0	0.785 3	0.723 3	1.000 0	1.000 0
$X_5$	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.243 9	0.333 3	0.740 4	0.349 2	0.333 3	0.585 8	0.374 6	0.333 3	0.333 3
$X_6$	0.707 9	1.000 0	0.875 8	0.932 4	0.621 7	0.542 8	0.533 9	0.582 3	1.000 0	1.000 0	0.744 2	0.374 8	0.502 2	0.352 8	0.446 3
$X_7$	0.782 9	0.820 9	0.861 8	0.986 7	0.465 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.441 8	0.908 6	0.674 8	0.333 3	0.572 1	0.362 3	0.434 1
$X_8$	0.380 4	0.487 2	0.487 7	0.514 5	0.661 3	0.514 4	0.517 3	0.670 2	0.333 3	0.402 4	0.448 5	1.000 0	0.525 1	0.623 6	0.473 9
$X_9$	1.000 0	0.796 9	0.968 7	0.907 2	1.000 0	0.510 0	0.341 3	0.642 8	0.760 7	0.527 9	0.529 1	0.853 3	0.493 6	0.571 1	0.539 7

推广,建议慎重选择。采用叶绿素荧光、水分生理指标,同时结合部分产量性状指标,加之当年遭遇旱年,其结果能够在一定程度上反映出一个品种在旱作条件下生产性能的优劣,其结果较为合理可信。

3 讨论与结论

3.1 9 个苜蓿品种水分生理参数比较

旱作条件下,苜蓿不同生育期叶片水势日变化幅度也增大。本试验得出,分枝期叶片水势日变化幅度小于现蕾期和

初花期,不同苜蓿品种各生育期 08:00 叶片水势具有一定的规律性,分枝期—现蕾期—初花期叶片水势呈现“高一低—低”的变化趋势,说明 9 个苜蓿品种的抗旱性也因生育期的不同而变化,这与人研究<sup>[5]</sup>一致。通过观察 2 茬不同苜蓿品种的水势得出,水势的变化也因环境变动而出现波动。分枝期各苜蓿品种间的水势较高且稳定的品种为准格尔苜蓿和敖汉苜蓿,同时水势较低的为公安 1 号和肇东苜蓿。

旱作条件下,9 个苜蓿品种的叶片水势日变化在不同时期均呈现一致的变化趋势,即早晚水势较高,午间较低,这可

表 7 苜蓿各品种叶绿素荧光、水分生理指标及  
产量指标的综合评价  $r_i$  值

品种	等权关联度		加权关联度	
	数值	排序	数值	排序
龙牧 803	0.484 6	7	0.482 2	7
龙牧 801	0.727 8	1	0.738 5	1
公农 1 号	0.390 3	8	0.389 4	8
中苜 1 号	0.663 1	5	0.685 9	3
肇东苜蓿	0.375 1	9	0.374 5	9
敖汉苜蓿	0.681 2	4	0.663 8	5
准格尔苜蓿	0.709 6	2	0.689 1	2
甘农 3 号	0.535 9	6	0.533 7	6
草原 2 号	0.696 1	3	0.680 9	4

能是由于午间温度高,光照强,导致叶片蒸腾失水较快,植物须吸收更多的水分而降低其组织水势。各时期在午间处理的叶片水势值均比较高,因为此时空气干燥、气温较高、太阳净辐射大,过度的蒸腾使植物叶片水分平衡失调,保卫细胞失水收缩,开度比其他时间点小,即通过“午睡”现象来调节植物体内的水分,以防止失水过多<sup>[6]</sup>。

紫花苜蓿在耐旱性方面属于高水势延迟脱水型,主要通过加强根系吸水来延迟脱水,本试验结果表明,苜蓿叶片水势日变化幅度增大,具有较高的叶水势。同时第 1 茬和第 2 茬的叶水势变动范围不同,表现在第 2 茬水势值的变动范围在较高水平,且幅度较小,可能是由于第 2 茬的土壤含水量较大,这也说明植物水势的变化幅度可以在一定程度上反映植物环境的多样性。9 个苜蓿品种午间叶水势呈极显著差异,主要是和苜蓿品种的吸水能力有关。

叶片水势与叶片相对含水量呈极显著正相关,与叶片保水力呈极显著负相关,即叶片相对含水量较小,叶片失水较慢,水势值较低,叶片保水力较大;相反,叶片含水量较大,叶片失水则较快,水势值较高,叶片保水力较小。本试验与前人的报道<sup>[5]</sup>基本一致。

### 3.2 9 个苜蓿品种叶绿素荧光参数比较

在本试验中 9 个苜蓿品种叶绿素荧光参数  $F_0$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_0$ 、 $F_v/F_m$ 、PI 表现出不同程度的差异。

PS II 反应中心完全开放时的荧光用初始荧光  $F_0$  表示, $F_0$  的增加或减少都反映反应中心的情况; $F_v$  增加表明 PS II 反应中心遭到不可逆转的破坏, $F_v$  减少表明反应中心天线的热耗散增加<sup>[7]</sup>。本试验中 9 个苜蓿品种初始荧光  $F_0$  上升,午间达到最大值,这说明午间 PS II 反应中心的破坏或可逆失活导致初始荧光增加<sup>[8]</sup>,发生了光抑制,而这 9 个品种中敖汉苜蓿、草原 2 号、准格尔苜蓿等较小。基于叶绿素荧光参数将参试品种用聚类分析分为两大类,第 1 类包括准格尔苜蓿、草原 2 号、敖汉苜蓿、中苜 1 号和龙牧 801,叶绿素荧光特性较优;第 2 类包括肇东苜蓿、甘农 3 号、公农 1 号和龙牧 803,叶绿素荧光特性较差。9 个苜蓿品种水势日变化较大,其中准格尔苜蓿和敖汉苜蓿叶片水势较高且较为稳定,而公农 1 号和肇东苜蓿叶水势较低。综上,准格尔苜蓿、草原 2 号、敖汉苜蓿、中苜 1 号和龙牧 801 对环境耐受性较好,肇东苜蓿、甘农 3 号、公农 1 号和龙牧 803 对环境耐受性较差。

### 3.3 9 个苜蓿品种产量性状比较

株高、分枝数、茎粗、叶面积、干鲜比、茎叶比等都是构成

苜蓿生物产量和品质的重要因子。Volence 等的研究表明,构成苜蓿生物量的重要因子包括叶片、枝条直径、质量、长度和侧枝数<sup>[9]</sup>。能够描述苜蓿生长状况、反映苜蓿产量的较为理想的特征量是株高,它还是衡量草地生产力和植物生长发育状况的重要指标之一。也有文献报道,作物产量与其高度呈正相关,高作物有更高的产量潜力<sup>[10]</sup>。彭宏春等的研究表明,紫花苜蓿生长高度与生物产量呈正相关<sup>[11]</sup>。干鲜比即干草与鲜草质量的比值是衡量牧草产量的基本指标之一,也是晾晒或青贮饲草的重要依据,通常情况下,干鲜比越高越适合晾晒干草<sup>[12]</sup>。干鲜比较高的品种在相同条件下晾晒干草质量大,获得较多干草,且干物质和营养物质含量高<sup>[13]</sup>。茎叶比即阴干后茎的质量与叶的质量之比,能够反映牧草适口性与品质,是衡量紫花苜蓿经济性状的一个重要指标。一般叶中粗蛋白含量比茎中高 1.0 ~ 2.5 倍,而粗纤维含量则比茎少 50% ~ 100%,可消化的营养物质叶比茎高 40%,所以茎叶比直接决定牧草营养价值和牧草品质,牧草叶量越多,其品质越好。茎叶比随着苜蓿的成熟而下降,而干鲜比在苜蓿整个生育期的变化趋势呈逐渐下降趋势<sup>[14]</sup>。

### 参考文献:

- [1]王韶唐,荆家海,丁忠荣,等. 植物生理学实验指导[M]. 西安:陕西科技出版社,1986.
- [2]陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 广州:华南理工大学出版社,2006:64 ~ 66.
- [3]王 勇,刘学义. 我国苜蓿研究现状、存在问题及对策[J]. 内蒙古农业科技,2004(6):6 ~ 7.
- [4]董寒青. 解析 SPSS 对主成分分析的计算技术[J]. 统计与决策,2004(3):117 ~ 118.
- [5]吴晓丽. 不同紫花苜蓿品种的抗旱生理特性比较研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [6]Gerbaud A, Andre M. Down regulation of photosynthesis after CO<sub>2</sub> enrichment of lettuce; relation to photosynthetic characteristics[J]. Biotronics,1999,12(28):33 ~ 44.
- [7]Bjorkman O, Demmig B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins[J]. Planta,1987,170(4):489 ~ 504.
- [8]许长成,李德全,邹 琦,等. 干旱条件下冬小麦不同叶龄叶绿素荧光及叶黄素循环组分的变化[J]. 植物生理学报,1999,25(1):29 ~ 37.
- [9]Volence J J, Cherney J H, Johnson K D. Yield components, plant morphology, and forage quality of alfalfa as influenced by plant population[J]. Crop Science,1987,27(2):321 ~ 326.
- [10]Burton G W. Inheritance of various morphological characters in alfalfa and their relations to plant yields in New Jersey[M]. New Jersey: Agr Exp Sta Bull,1937:628.
- [11]彭宏春,牛东玲,李晓明,等. 柴达木盆地弃耕盐碱地紫花苜蓿生物量季节动态[J]. 草地学报,2001(3):218 ~ 222,242.
- [12]买尔亚木·玉苏甫,海日泥沙,克然木. 5 个紫花苜蓿品种对比实验的分析[J]. 草食家畜,2010,9(3):70 ~ 73.
- [13]温 方. 紫花苜蓿不同品种生产性能及其光合特性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.
- [14]徐春明. 不同苜蓿(*Medicago Sativa*)品种生长特性分析及评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2003.