

宁夏引黄灌区 10 个紫花苜蓿品种越冬性综合评价

李 涛,李明雨,刘光瑞,毕盛楠,兰 剑

(宁夏大学 农学院,宁夏 银川 750021)

摘要:为评价紫花苜蓿不同品种在宁夏引黄灌区的越冬性能,测定了 10 个紫花苜蓿品种的株高、分枝数、根颈入土深度和根颈直径、干草产量等农艺性状,并使用灰色关联度法和系统聚类分析进行综合评价和分类。结果表明:紫花苜蓿 6 个农艺性状与越冬性关联度顺序依次为:干草产量>越冬率>株高>根颈直径>根颈入土深度>分枝数,灰色关联度为 WL354HQ > WL903HQ > WL326GZ > WL353HQ > WL363HQ > WL343HQ > WL319HQ > WL366HQ > WL168HQ > WL298HQ;10 个紫花苜蓿品种越冬性通过系统聚类分析可分为 2 大类 4 小类,以 WL354HQ, WL903 和 WL326GZ 品种在宁夏引黄灌区的越冬能力最强。

关键词:紫花苜蓿;越冬性;灰色关联度分析;综合评价

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)03-0009-07

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)为多年生豆科牧草,具有抗逆性强、产量高、利用年限长、种植范围广等特点,且适口性好、营养均衡而全面,为各种家畜所喜食,享有“牧草之王”的美誉。目前,我国苜蓿栽培面积已达 470.8 万 hm^2 ^[1]。但由于引种、管理和利用方式不当等造成苜蓿越冬率较低,甚至出现大面积死亡的现象,给畜牧业造成严重的经济损失。解决这一难题,需要全面了解苜蓿适应寒冷所表现的特征。宁夏地区冬季寒冷干燥,严重制约着苜蓿产业的发展,因此,深入研究紫花苜蓿适应寒冷的特点,对扩大苜蓿种植面积,提高其生产力具有深远的意义。虽然对紫花苜蓿的越冬性研究已经比较深入,但由于不同的苜蓿品种适宜生长地区受环境因素和基因型的影响,同一品种在不同生态区域的生长以及同一地区适宜种植的苜蓿品种

也存在较大差异^[2-3]。大多数学者通过生理指标来研究苜蓿的越冬性,而以农艺性状来说明苜蓿越冬性特点的研究较少^[4-6]。试验选用国外引进的 10 个紫花苜蓿品种,通过株高、分枝数、根颈入土深度、根颈直径、越冬率以及干草产量等 6 个农艺性状分析比较不同紫花苜蓿品种的越冬性,以期为宁夏地区苜蓿栽培提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏吴忠市青铜峡市甘城子村(引黄灌区),E 106°27', N 37°36', 属温带大陆性半干旱气候,年均降水量 260 mm,年蒸发量 2 018 mm,年平均温度 8.3℃~8.6℃。冬季最低温度-10℃~18℃,四季分明,日照充足,昼夜温差大,全年日照 2 955 h,无霜期 176 d,土壤类型为灌淤土。

1.2 供试材料

表 1 紫花苜蓿品种及来源

Table 1 Source of 10 alfalfa varieties

品种	秋眠级	来源地	品种	秋眠级	来源地
WL168HQ	2.0	美国	WL353HQ	3.5	美国
WL298HQ	3.2	美国	WL354HQ	4.1	美国
WL319HQ	2.8	美国	WL363HQ	4.9	美国
WL326GZ	4.0	美国	WL366HQ	4.9	美国
WL343HQ	4.0	美国	WL903	9.0	美国

收稿日期:2018-12-17; 修回日期:2019-03-18

基金项目:国家重点研发项目“暖温性荒漠草原区退化草地修复及生产力提升技术研发与示范”(2016YFC0500505);宁夏回族自治区农业育种项目“耐旱优质牧草新品种筛选与配套技术研究”和“分子育种抗逆高代材料生物学特性鉴定与牧草新种质创制/2014NXYZ040203”资助

作者简介:李涛(1993-),男,甘肃天水人,在读硕士。

E-mail:2410112799@qq.com

兰剑为通讯作者。E-mail:ndlanjian@163.com

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,每个品种 3 次重复,2015 年 5 月 8 日条播,播种量 15 kg/hm^2 ,小区面积 15 m^2 ($5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$),行间距 30 cm ,每小区播种 10 行。各小区周边留 1 m 过道,并且在试验区周边设立 1 m 保护行。采用灌溉、施肥以及病虫害防治等常规田间管理。2017 年 4 月 20 日测定株高、分枝数、根颈入土深度、根颈直径以及越冬率 5 个农艺性状。

1.4 测定指标及方法

株高:在返青期,每个小区随机选取 50 株,测量其自然高度。

分枝数:在返青期,每个小区随机选取 50 株,测量着生于根颈处的分枝数。

根颈入土深度:在苜蓿返青期,用游标卡尺测量从地表到根颈上端的距离,30 次重复。

根颈直径:苜蓿返青期,挖出苜蓿根颈,用游标卡尺测根颈膨大处,30 次重复。

$$\xi_i(k) = \frac{\min(i)\min(k)|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max(i)\max(k)|x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max(i)\max(k)|x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

$$\gamma_i' = \sum_{k=i}^N W_i(k) \times \xi_i(k) \quad (2)$$

式中: $\xi_i(k)$ 为 x_0 与 x_i 在第 k 点的关联系数, $|x_0(k) - x_i(k)|$ 表示 x_0 数列在第 k 点的绝对差值, $\min(i)\min(k)|x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最小绝对差值, $\max(i)\max(k)|x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最大绝对差值, ρ 为分辨系数,取值范围 $0 \sim 1$,其中分辨系数 $\rho = 0.5^{[7]}$ 。

根据关联系数公式(1),将绝对差值代入,即得到相应的关联系数。

1.6 数据统计分析

数据采用 Excel 2010 进行处理,SPSS 22.0 统计软件分析。

2 结果与分析

2.1 不同紫花苜蓿品种株高和分枝数比较

不同紫花苜蓿品种株高差异显著($P < 0.05$),WL903 最高,达 28.9 cm ,显著高于 WL343HQ (24.8 cm)、WL363HQ (24.4 cm)、WL326GZ (23.4 cm)等;最低的是 WL353HQ,仅为 14.8 cm ,其与 WL903 相差 49% (表 2)。分枝数最多的为 WL353HQ,其次为 WL354HQ 和 WL326GZ;最少的

越冬率:苜蓿返青期,每个小区在小区中间地段,测定 1 m 样段总植株数及返青植株数,并计算越冬率。

$$\text{越冬率}(\%) = (\text{返青植株数} / \text{总植株数}) \times 100\%$$

干草产量:在苜蓿初花期每个小区随机刈割,留茬 5 cm 高度,采用 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 样方,3 次重复称其鲜草产量(kg/hm^2),并将样品带回实验室在 105°C 烘箱内烘 10 min ,再在 65°C 条件下烘干至恒重,称其干重并计算干草产量(kg/hm^2)。

1.5 越冬性能的灰色关联度分析

根据灰色系统理论,将参试苜蓿品种越冬率和其他指标视为一个整体,即灰色关联系统。每个参试品种都为该系统的其中一个因素,以参试品种的株高、分枝数、根颈入土深度、根颈直径、越冬率、干草产量为参考数列,计算各个性状间的关联度和关联系数,并确定 10 个参试品种的综合排序和越冬性能的优劣。关联系数和关联度的计算公式为:

为 WL343HQ,为 3.1 个/株。综上所述,株高和分枝数均表现良好的紫花苜蓿品种是 WL326GZ。

2.2 不同紫花苜蓿品种根颈入土深度和根颈直径的比较

根颈入土深度最深的是 WL353HQ,达到 50.28 mm ,与其他紫花苜蓿品种相比较,差异达到了显著($P < 0.05$)水平,与最低的 WL903、WL168HQ 相比较均相差 56% 。根颈直径最粗的是 WL354HQ,达到 13.3 mm ;比最低的 WL168HQ (7.26 mm)高出 45% (表 2)。与前者相比较,综合根颈入土深度和根颈直径的试验结果,根颈入土深度和根颈直径最低品种是 WL168HQ。

2.3 不同紫花苜蓿品种干草产量的比较

不同紫花苜蓿品种干草产量差异显著($P < 0.05$),WL903 苜蓿产量最高,达到 $14\,970.95 \text{ kg/hm}^2$,WL354HQ 产量次之,为 $14\,776.27 \text{ kg/hm}^2$,产量最低的苜蓿品种为 WL168HQ ($11\,218.81 \text{ kg/hm}^2$),最高与最低产量之间相差 $3\,752.14 \text{ kg/hm}^2$ 。其中干草产量大于 $14\,000 \text{ kg/hm}^2$ 的苜蓿

品种为 WL903, WL354HQ 和 WL326GZ(表 2)。

表 2 不同紫花苜蓿品种的农艺性状比较(平均值±标准差)

Table 2 Comparison of agronomic traits of 10 alfalfa varieties(mean±std.)

品种	株高/cm	分枝数 /(个·株 ⁻¹)	根颈入土深度 /mm	根颈直径 /mm	干草产量 /(kg·hm ⁻²)
WL168HQ	19.30±3.18 ^{cd}	3.7±0.75 ^c	22.08±1.41 ^d	7.26±1.03 ^d	11 218.81±3.40 ^e
WL298HQ	16.00±2.29 ^d	3.2±1.07 ^c	31.33±3.07 ^{cd}	9.93±1.45 ^{bcd}	12 024.21±3.84 ^{de}
WL319HQ	24.3±3.89 ^{ab}	3.2±1.01 ^c	24.30±2.07 ^d	10.34±0.67 ^{bc}	13 553.76±3.12 ^{abc}
WL326GZ	23.4±1.01 ^{bc}	4.9±1.50 ^{abc}	43.5±7.38 ^{ab}	11.15±1.93 ^{abc}	14 519.87±3.10 ^{abc}
WL343HQ	24.8±3.34 ^{ab}	3.1±0.42 ^c	28.97±1.98 ^{cd}	9.33±1.47 ^{cd}	13 310.92±3.12 ^{bcdv}
WL353HQ	14.8±0.39 ^d	6.4±1.50 ^a	50.28±6.55 ^a	10.48±1.03 ^{bc}	13 551.74±2.63 ^{abc}
WL354HQ	22.2±4.04 ^{bc}	5.8±1.07 ^{ab}	41.56±7.14 ^{ab}	13.3±1.59 ^a	14 776.27±3.81 ^{ab}
WL363HQ	24.4±1.42 ^{ab}	4.4±0.98 ^{bc}	22.65±5.03 ^d	9.09±1.65 ^{cd}	13 714.29±1.63 ^{abc}
WL366HQ	17.2±1.89 ^d	3.9±0.0.42 ^{bc}	37.81±6.82 ^{bc}	8.74±1.37 ^{cd}	13 126.18±2.11 ^{cd}
WL903	28.9±1.91 ^a	4.2±0.97 ^{bc}	22.08±4.99 ^d	12.13±1.51 ^{ab}	14 970.95±3.42 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

2.4 不同紫花苜蓿品种越冬率比较

越冬率的试验表明, WL326GZ 的越冬率最高(图 1), 达到 96.88%, 与 WL298HQ 相比, 差异显著

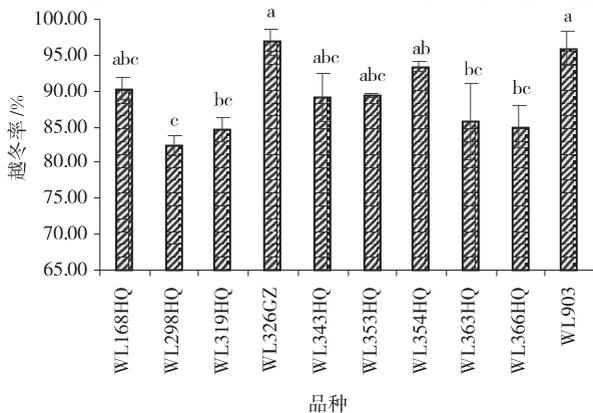


图 1 不同紫花苜蓿品种的越冬率比较
Fig. 1 Companions of wintering rates of 10 alfalfa varieties

(P<0.05); 其他品种间差异均不显著。越冬率达到 90% 以上的有 4 个品种, 分别是 WL326GZ、WL903、WL354HQ 和 WL168, 其他紫花苜蓿品种的越冬率均低于 90%。

2.5 不同紫花苜蓿品种越冬性综合评价

以株高、分枝数、根颈入土深度、根颈直径、越冬率和干草产量等 6 个农艺性状为因素的灰色系统分析结果显示(表 3), 6 个性状与紫花苜蓿越冬性关联度最大的是干草产量, 其次是越冬率、株高、根颈直径、根颈入土深度、分枝数。对各个品种的综合评价依据其加权关联度进行排序, 依次为 WL354HQ、WL903、WL326GZ、WL353HQ、WL363HQ、WL343HQ、WL319HQ、WL366HQ、WL168、WL298HQ, 排名前三的苜蓿品种分别为 WL354HQ、WL903、WL326GZ, 能够在宁夏地区安全越冬(表 4)。

表 3 不同农艺性状越冬性的关联系数矩阵, 关联度及其排序

Table 3 Correlation coefficient matrix and correlation degree of winter hardiness of different agronomic traits and rank

品种	株高	分枝数	根颈入土深度	根颈直径	越冬率	干草产量
WL168HQ	0.424 9	0.384 0	0.333 3	0.333 3	0.525 4	0.333 3
WL298HQ	0.354 3	0.344 2	0.426 7	0.472 6	0.333 3	0.389 0
WL319HQ	0.604 3	0.340 7	0.351 9	0.505 0	0.373 5	0.569 7
WL326G2	0.564 1	0.521 6	0.675 4	0.584 1	1.000 0	0.806 2
WL343HQ	0.633 1	0.333 3	0.398 3	0.432 0	0.485 8	0.530 5
WL353HQ	0.333 3	1.000 0	1.000 0	0.517 1	0.494 7	0.569 3
WL354HQ	0.513 1	0.719 1	0.618 0	1.000 0	0.675 5	0.906 0
WL363HQ	0.613 2	0.451 9	0.338 0	0.417 7	0.395 4	0.598 9
WL366HQ	0.375 9	0.403 3	0.530 8	0.398 4	0.380 1	0.504 2
WL903	1.000 0	0.428 9	0.333 4	0.720 8	0.874 0	1.000 0
关联度	0.166 8	0.151 7	0.154 1	0.165 7	0.170 5	0.191 1
排序	3	6	5	4	2	1

表 4 不同紫花苜蓿品种的关联度及其排序

Table 4 Correlation degree and rank of

different alfalfa varieties

品种	等权关联度	加权关联度	排序
WL168HQ	0.389 0	0.389 0	9
WL298HQ	0.386 7	0.386 6	10
WL319HQ	0.457 5	0.463 0	7
WL326GZ	0.691 9	0.698 7	3
WL343HQ	0.468 9	0.473 4	6
WL353HQ	0.652 4	0.640 3	4
WL354HQ	0.738 6	0.744 0	1
WL363HQ	0.469 2	0.474 0	5
WL366HQ	0.432 1	0.432 9	8
WL903	0.726 2	0.742 9	2

2.6 聚类分析

以 10 个参试品种的农艺性状测定值作为分析变量,采用欧式距离离差平方和法对 10 个紫花苜蓿品种进行系统聚类分析。当距离等于 441 时可划分为 4 类,第 1 类为 WL168HQ;第 2 类为 WL298HQ;第 3 类为 WL319HQ、WL353HQ、WL363HQ、WL343HQ、WL366HQ;第 4 类为 WL326GZ、WL354HQ 和 WL903。当距离等于 882 时可划分为两大类,第 1 类为 WL168 和 WL298HQ;第 2 类为 WL319HQ、WL353HQ、WL363HQ、WL343HQ、WL366HQ、WL326GZ、WL354HQ 和 WL903(图 2)。综合分析表明,WL326GZ、WL354HQ、WL903 在宁夏地区越冬性能最佳。

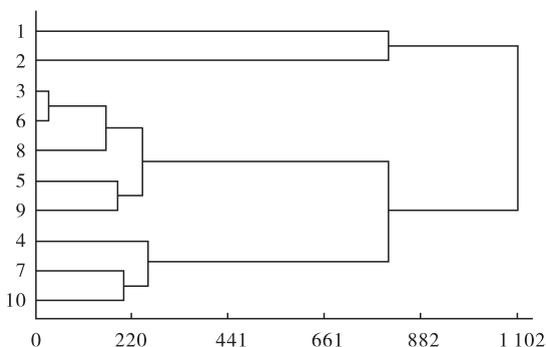


图 2 紫花苜蓿品种系统聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 10 alfalfa varieties

注:1—10 号苜蓿品种分别代表 WL168HQ, WL298HQ, WL319HQ, WL326GZ, WL343HQ, WL353HQ, WL354HQ, WL363HQ, WL366HQ, WL903

3 讨论

紫花苜蓿秋眠性是秋季北纬地区日照减少和气温下降引起的一种生理休眠,是一种与苜蓿抗寒性密切相关的特性,是苜蓿实现越冬、返青过程的关键基础,同时也是紫花苜蓿种植中首先要考虑的因素^[8]。李聚才等^[9]研究了高秋眠级苜蓿品种在宁夏引黄灌区播种

试验,结果表明,WL903 苜蓿品种的株高、生长速度、茎粗、干草产量等指标在宁夏引黄灌区均表现较优。刘志英^[10]在不同苜蓿品种秋眠级评定及其对越冬率的影响机理中研究发现,苜蓿秋眠级与抗寒指数呈极显著的正相关关系,即秋眠性越强,苜蓿的越冬能力越强。此次研究结果与诸多研究结果一致;有报道认为苜蓿秋眠性与抗寒性密切相关,李向林等^[11]在苜蓿秋眠性及其与抗寒性和产量的关系的研究中表明这两个性状是相对独立的过程,分别是以耐牧性和抗寒为目的。如果放牧强度过大,苜蓿种群的秋眠性会加强。而苜蓿的抗寒性只是为了抵御寒冷,如果苜蓿生长在比较温暖的环境中,就不需要抗寒的特性。但由于秋眠性和抗寒性是同时进化,二者可以相互替代。国外有学者证明两个非秋眠性的苜蓿品种进行杂交,后代中出现了秋眠性与抗寒性的分离,许多新育成的品种秋眠性和越冬率的相关性很小,说明二者的关系已经打破^[12]。苜蓿秋眠级与抗寒性的关系的研究是以后研究的重点,因此,后期培育非秋眠级但抗寒性较强的苜蓿品种是苜蓿育种的目标。

越冬性是筛选适合当地种植苜蓿品种的重要指标之一,同时是限制苜蓿生产利用的主要因素^[11]。不同土壤和气候条件下紫花苜蓿越冬性能存在明显差异。不同品种的紫花苜蓿越冬性的差异可直接反映越冬率的高低^[12-14]。株高和分枝数是苜蓿生长过程中十分重要的指标^[15-17]。研究发现苜蓿的株高与越冬性有很大的相关性,植株越高其越冬性一般较差,当温度降低时,两者的相关性愈加明显^[18-20]。此次试验中株高最高的苜蓿品种为 WL903,最低的为 WL353HQ,但这两个综合排序分别为第 2 和第 4,说明苜蓿的越冬性是由多种因素决定,株高这单一指标并不能如实反映植物的越冬能力。必须把多种因素结合起来才能正确反映苜蓿的越冬性。

苜蓿为多年生豆科牧草,其根颈位于近地面根冠部,是产生分枝的重要部位,同时也是连接地上与地下部分的重要器官^[20-21]。苜蓿根颈是苜蓿吸收,运输养分和水分的重要器官,也是产生分枝的重要部位,直接影响苜蓿可持续利用,如再生性、耐寒性、抗旱性和抗病虫害性等都与其密切相关^[22-24]。相关研究表明苜蓿根颈入土深度和根颈直径与苜蓿越冬率明显相关,

苜蓿根颈越粗其抗寒性越强^[25]。试验再次证明了这一点,参试苜蓿品种根颈入土深度平均可达到 32.46 mm,各品种根颈直径平均为 10.2 mm。分枝数、根颈入土深度和根颈直径在品种间表现出明显不同,分枝数或根颈入土深度较大者,根颈直径也较粗,其越冬率也较强,如 WL353HQ、WL354HQ 和 WL326GZ 等。有报道表明分枝数的多少、根颈入土的深浅、根颈直径的粗细直接决定苜蓿的越冬性和耐寒性^[26-29]。

苜蓿鲜、干草产量是衡量其生产性能、引种选育以及经济效益的重要因素。钟华^[30]在晋中不同秋眠级紫花苜蓿品种生产性能研究中发现水肥条件较好的地区,种植秋眠级为 5~6 级的苜蓿品种生长快、产量较高,而在水肥一般的条件下选择秋眠级为 2~4 的苜蓿品种其生产性能较好;刘艺彬等^[31]发现秋眠级为 6~8 的苜蓿品种在北京地区种植产量表现较好。试验中 WL903 苜蓿品种的秋眠级为 9.0,其干草产量、株高、越冬率等指标均表现为优,和以上研究结果一致。因此,苜蓿产量的高低与品种、刈割频度、施肥、灌水、种植的地理位置和气候等条件有关^[32]。在不同地区进行苜蓿选育种植时,需要根据当地的气候、土壤等本土的环境因素来选择本地区适宜种植的秋眠级品种,不应该依据已知的苜蓿秋眠级指数进行选种^[33]。

灰色关联度分析法是以各因素数列的几何发展态势的接近程度来衡量各个因素间关联度的大小,一般关联系数越大,数列与特征数列则越接近^[34]。近年来运用灰色关联度分析法作综合评价的研究很多,但在牧草方面的应用大多集中于苜蓿的生产性能和营养品质评价,对苜蓿越冬性及农艺性状综合评价的报道较少^[35-38]。研究结合实践生产情况,采用灰色关联度分析法,根据加权关联度值的大小进行高低排序。评价出的 3 个综合越冬性较好的品种,为苜蓿种质资源的选育和生产实践提供理论参考依据。但在对这些材料的综合评价中,还具有一定人为不可控因素,评价指标也不够全面。因此,在以后的研究中应对苜蓿的生产性能、产量及营养价值等指标,进行全面的综合评价。

4 结论

宁夏引黄灌区种植的 10 个 WL 系列紫花苜蓿中,

WL903 品种的株高最高,WL353 品种的分枝数最多,WL168HQ 的根颈入土最深,WL354HQ 品种的根颈直径最粗,WL326GZ 的越冬率最高。对各个品种的综合评价依据其加权关联度进行排序,依次为 WL354HQ、WL903、WL326GZ、WL353HQ、WL343、WL319HQ、WL363HQ、WL366HQ、WL168、WL298HQ。通过灰色关联度综合分析和聚类分析法评价 10 个紫花苜蓿品种,结果可分为 2 大类 4 小类。WL326GZ、WL354HQ、WL903、WL353HQ 类群的越冬能力最佳,且综合评价结果优于其他品种,可以在进一步评价其越冬性稳定的情况下在宁夏地区大面积推广种植。

参考文献:

- [1] 王熙遥,钱贵霞. 中国苜蓿市场供需预测[J]. 农业展望, 2018,14(2):17-25.
- [2] Oakley A R, Westover L H. Effect of the length of day on seedlings of alfalfa varieties and the possibility of utilizing this as a practical means of identification[J]. Journal of Agriculture Research, 1921, XXI(8):599-608.
- [3] Yang S, Gao M, Xu C, et al. Alfalfa benefits from *Medicago truncatula*: The RCT1 gene from *M. truncatula* confers broad-spectrum resistance to anthracnose in alfalfa[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(34):12164-12169.
- [4] 申晓慧,姜成,冯鹏,等. 六种紫花苜蓿在高寒地区抗寒生理特性差异比较研究[J]. 草地学报, 2016, 24(5):1131-1133.
- [5] 马周文,秘一先,鲁学思,等. 低温胁迫对紫花苜蓿生理指标的影响[J]. 草原与草坪, 2016, 36(6):60-67.
- [6] 张小英. 不同苜蓿品种对秋冬低温条件的生理适应性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2008.
- [7] 金玉国. 一种测定权数的新方法:灰色关联分析[J]. 统计教育, 2002(4):12-15.
- [8] 方珊珊,闫亚飞,刘志英,等. 45 个苜蓿品种秋眠级初步评定[J], 2015, 24(11):247-255.
- [9] 李聚才,李建军,王川,等. 高秋眠级苜蓿品种在宁夏引黄灌区暖泉农场麦后复种试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017 (11):151-157.
- [10] 刘志英. 不同苜蓿品种秋眠级评定及其对越冬率的影响机理[D]. 北京:中国农业科学院, 2016.
- [11] 李向林,万里强. 苜蓿秋眠性及其与抗寒性和产量的关

- 系[J]. 草业学报, 2004, 15(3): 57—61.
- [12] Knipe B, Reisen P, McCaslin M. The importance of fall-dormancy to yield, persistence and forage quality[C]// Proceedings of the 1997 California Alfalfa Symposium, 1997: 192—197.
- [13] 武祯. 紫花苜蓿和黄花苜蓿生长特性及其与秋眠性的关系研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [14] 孙万斌, 冯刚刚, 马晖玲, 等. 不同紫花苜蓿品种在甘肃荒漠绿洲灌区和半干旱灌区的灰色关联度综合评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 52(5): 73—82.
- [15] 于辉, 姚江华, 刘荣, 等. 四个紫花苜蓿品种草产量、营养品质及越冬率的综合评价[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 108—111.
- [16] 海涛, 于辉, 王秀清. 不同紫花苜蓿品种干草、粗蛋白产量及越冬率的灰色关联分析[J]. 饲料博览, 2009(2): 12—14.
- [17] 王英哲, 徐博, 徐安凯, 等. 14个紫花苜蓿品种的引种和生产性能比较评价[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 38—44.
- [18] 赵天启, 古琛, 王舒新, 等. 草甸草原区引种苜蓿适应性评价[J]. 草原与草坪, 2017, 37(03): 86—90.
- [19] 张延林, 李天银, 马银生, 等. 不同紫花苜蓿品种在河西走廊盐碱地的适应性研究[J]. 草原与草坪, 2015, 35(02): 32—37.
- [20] Schwab P M, Barnes D K, Sheaf C C. The relationship between field winter jury and fall growth score for 251 alfalfa cultivars[J]. Crop Science, 1996, 36: 418—426.
- [21] Schwab P M, Barnes D K, Sheaffer C C, *et al.* Factors affecting a laboratory evaluation of alfalfa cold tolerance[J]. Crop Science, 1996, 36(2): 318—324.
- [22] 杨敏, 师尚礼. 紫花苜蓿根颈生长多样性研究[J]. 草原与草坪, 2016, 36(5): 21—27.
- [23] OGrady A P, Worledge D, Battaglia M. Above-and below-ground relationships, with particular reference to fine roots, in a young *Eucalyptus globulus* (Labill.) stand in southern Tasmania[J]. Trees (Berlin), 2006, 20(5): 531—538.
- [24] 孙启忠, 韩建国, 桂荣, 等. 科尔沁沙地苜蓿根系和根颈特性[J]. 草地学报, 2001, 15(4): 269—276.
- [25] 张世超, 毕建飞, 王莹, 等. 播种当年不同苜蓿品种根系形态特征研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(1): 141—144.
- [26] 韩清芳, 吴新卫, 贾志宽, 等. 不同秋眠级数苜蓿品种根颈变化特征分析[J]. 草业学报, 2008, 19(4): 85—91.
- [27] Johnson L D, Marquez-Ortiz J J, Barnes D K, *et al.* Inheritance of root traits in alfalfa[J]. Crop Science, 1996, 36: 1482—1487.
- [28] 南丽丽, 师尚礼, 郭全恩, 等. 不同根型苜蓿根颈变化特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 914—920.
- [29] 王月胜. 不同苜蓿品种根系特征及其越冬性关系的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [30] 钟华. 晋中地区不同秋眠级紫花苜蓿品种生产性能研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2005.
- [31] 刘艺杉, 刘自学, 苏爱莲, 等. 北京地区不同秋眠级苜蓿品种适应性评价[J]. 草业科学, 2008(2): 60—63
- [32] 曹婧, 李富祥, 毕舒盼, 等. 不同秋眠级紫花苜蓿在贵州地区的引种试验[J]. 草原与草坪, 2018, 38(4): 78—87.
- [33] 王晓龙, 米福贵, 李红, 等. 不同秋眠级苜蓿产量、品质及越冬率比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019(6): 1—7.
- [34] 史纪安, 刘玉华, 韩清芳, 等. 不同秋眠级数的紫花苜蓿品种根系发育能力研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 149—154.
- [35] 刘志英, 李西良, 李峰, 等. 越冬紫花苜蓿根系性状与秋眠性的关系及其抗寒效应[J]. 中国农业科学, 2015, 48(9): 1689—1701.
- [36] 杨翌, 李红, 黄新育, 等. 应用灰色关联度综合评价 16 个引进苜蓿品种的生产性能[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(1): 105—108.
- [37] 田兵, 冉雪琴, 薛红, 等. 贵州 42 种野生牧草营养价值灰色关联度分析[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 92—103.
- [38] 孙万斌. 不同生境下 20 个紫花苜蓿品种的综合评价及不同生育期营养特性的比较[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.