

根茎型清水紫花苜蓿杂交改良后代的产量和营养品质研究

阿芸^{1,2}, 师尚礼^{1*}, 张晓燕¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 青海理工学院生态与环境科学学院, 青海 西宁 860016)

摘要:【目的】根茎型清水紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Qingshui)是建植放牧型草地和生态草地的优良种质,但其饲草生产性能低。本研究为了改良清水紫花苜蓿的生产性能。【方法】以清水和WL168紫花苜蓿(*M. sativa* cv. WL168)的杂交后代选育系RSA-03为研究对象,以亲本清水和WL168为对照,对供试材料不同茬次下的干草产量、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗灰分(Ash)含量和相对饲喂价值(RFV)的杂种优势进行分析,探究其产量特征和营养价值。【结果】1)RSA-03的年干草产量较WL168低出8.88%,而较清水高出31.11%,与清水相比,RSA-03的产量杂种优势突出。WL168、清水和RSA-03的产量均表现:第1茬>第2茬>第3茬。2)RSA-03的ADF含量较清水和WL168显著低出2.62%和3.84%,RSA-03的RFV较清水显著高出2.26%,RSA-03的ADF含量和RFV杂种优势突出,其中,在各茬次下三者的营养品质不尽相同。3)通过灰色关联度法对其营养品质评价得出:WL168>RSA-03>清水。【结论】与高产优质的WL168杂交,亲本清水紫花苜蓿的产量、营养品质、相对饲喂价值和适口性得到一定程度的改良,RSA-03适宜于放牧型草地的建植利用。

关键词:清水紫花苜蓿;WL168;产量;营养品质;杂种优势;灰色关联度法

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0076-09

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.04.009



根茎型紫花苜蓿是建植放牧型草地和生态草地的优良放牧型种质,具有发达的根状茎根系,耐践踏和更新能力强^[1]。放牧型苜蓿品种有润布勒(Rambler)、兰吉兰德(Rangelander)、呼伦贝尔黄花苜蓿(*Medicago falcata* cv. Hulunbeier)和甘农2号杂花苜蓿(*Medicago varia* cv. Gannong No. 2)等^[1-3],主要以根蘖型为主。相较根蘖型苜蓿,根茎型苜蓿具有更新

且扩展能力较强大的根状茎,其对地被形成能力有更好的优势^[4]。目前,清水紫花苜蓿是国内仅有的根茎型苜蓿品种,是饲用价值较高的放牧型牧草^[4],但其生产性能低;多年来对该种质进行了酶谱分析、核型分析和DNA分子标记等^[4-8]大量研究,但对其生产性能的改良缺乏研究,故这一资源的开发利用意义重大。此外,根蘖型WL168紫花苜蓿是高产、优质、多抗和适应性强的放牧型种质,在我国东北和西北等地均可种植,是干旱、寒冷地区的首选品种^[4]。因此,本课题组对均为适于放牧的清水紫花苜蓿和WL168进行了杂交,已获得根茎型杂交选育系RSA-03。

杂交育种可以将双亲的优异基因结合于一体,产生在该性状上超过亲本的类型,快速创造具有优异性能的新种质^[9-10]。长期以来,很多学者通过杂交育种

收稿日期:2023-01-30;**修回日期:**2023-04-05

基金资助:甘肃科技重大专项(19ZDZNA002);青海理工大学(筹)论文延伸项目(2023021wys014)

作者简介:阿芸(1993-),女,青海乐都人,博士研究生。

E-mail:1421538664@qq.com

*通信作者。E-mail:shishl@gsau.edu.cn

方法,培育了不少优良品种,如王虹等^[11]以杂交的16个紫花苜蓿优良株系的半同胞后代为材料,筛选出速生15号、速生12号等高产且优质的材料。本课题组前期研究表明,与清水相比,RSA-03的地上生物量和茎粗都具有显著的杂种优势^[4]。放牧型苜蓿不仅要产量高,还要品质佳。所以,在前期研究基础上,笔者以生物量优势突出的杂交选育系RSA-03为研究对象,以亲本清水与WL168为对照,测定产量和营养品质相关指标,分析产量特性和营养品质的杂种优势,评价其营养价值,为放牧型草地的建植提供更丰富的根茎型种质资源。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于2021年在甘肃农业大学牧草试验站进

行,试验区位于兰州市西北部,地理位置105°41' E, 34°05' N,海拔1 525 m,属温带半干旱大陆性气候,年均气温9.7℃,年均降水量451.6 mm,年均蒸发量1 664 mm。

1.2 供试材料

以清水紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Qingshui)和WL168紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. WL168)的杂交后代选育系RSA-03为研究对象,以两个亲本为对照。

材料来源:杂交材料以生物量和根茎型根系为目标性状进行后代选育(详见前期研究^[4,8]),RSA-03的株型特点见表1。WL168购自北京正道生态科技有限公司,清水和RSA-03均由甘肃农业大学草业学院提供。

表1 供试材料特征

Table 1 Characteristics of test materials

名称	特征
亲本材料	清水 枝条平卧或斜生型,伸展习性强;茎秆纤细且硬,株型疏松,绝对株高为62.12 cm ^[4,8] ;种子发芽率为87.77%;适应性强、耐践踏和繁殖更新能力强 ^[2,4] ,全国草品种审定委员会审定登记编号为412。
	WL168 枝条直立型,伸展习性较强;茎秆较粗,绝对株高为71.01 cm ^[4,12] 。发芽率为95.30%。
杂交选育系	RSA-03 枝条平卧型,茎枝与地面夹角30°以下,绝对株高为69.60 cm ^[4,8] ,发芽率为87.11%。

1.3 试验设计

于2020年7月10日进行播种,随机区组设计,杂交后代选育系RSA-03为处理,以清水紫花苜蓿和WL168为对照,3次重复,小区面积3 m×5 m,条播,行距30 cm,播量1 g/m²。在整个试验期间,及时进行田间管理,包括灌溉、人工除草和害虫防治等。

2021年在各刈割茬次的初花期(5%开花)对营养品质相关指标进行测定,取样时间分别为5月15日、7月20日和9月5日;每个小区随机选取500 g苜蓿植株,留茬5 cm,鲜样自然风干后研磨,过1 mm筛,保存于4℃冰箱备用。

1.4 指标测定及方法

1.4.1 干草产量的测定 在各茬次紫花苜蓿的初花期,随机选取长势一致的苜蓿样方(2 m×2 m)进行刈割,留茬5 cm;刈割后的样品放置于110℃的烘箱杀青15 min后,65℃持续烘12 h后恒重,计算干草产量。

1.4.2 营养品质相关指标的测定 粗蛋白(CP)采用

凯氏定氮法测定^[13];粗脂肪(EE)采用GB6433-94索氏提取法测定;酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)采用Van Soest法测定^[14];粗灰分(Ash)采用干灰化法测定;相对饲用价值^[18](RFV)计算公式:RFV=[DMI(%BW)×DDM(%DM)]/1.29

DMI与DDM的预测模型为:

$$\text{DMI}(\% \text{ BW}) = 120 / \text{NDF}(\% \text{ DM}), \text{DDM}(\% \text{ DM}) = 88.9 - 0.779 * \text{ADF}(\% \text{ DM})$$

式中,DMI(dry matter intake)为粗饲料干物质的随意采食量,单位为% BW;DDM(digestible dry matter)为可消化的干物质,单位为% DM。

1.5 数据处理

用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析,其他值均用Excel 2010进行计算,计算公式如下。

根据灰色系统理论,把参试材料的所有指标视为一个灰色系统,每个指标为系统中的一个因素。参试

出6.51%;RSA-03的CP含量(24.14%)较清水显著高出8.84%,而与WL168差异不显著。第3茬,WL168的CP含量(19.31%)与清水(20.19%)差异不显著;RSA-03的CP含量(21.73%)较清水和WL168分别显著高出7.65%和12.53%。

第1茬,WL168的EE含量(2.68%)较清水(1.95%)显著高出36.94%($P<0.05$)(图2-B);RSA-03的EE含量(1.98%)较WL168显著低出25.83%,

而与清水差异不显著。第2茬,清水的EE含量(3.42%)较WL168(2.29%)显著高出49.36%;RSA-03的EE含量(2.70%)较WL168显著高出17.91%,而较清水显著低出21.05%。第3茬,WL168的EE含量(2.96%)较清水(2.34%)显著高出26.50%;RSA-03的EE含量(2.73%)较WL168显著低出7.77%,而较清水显著高出16.58%。

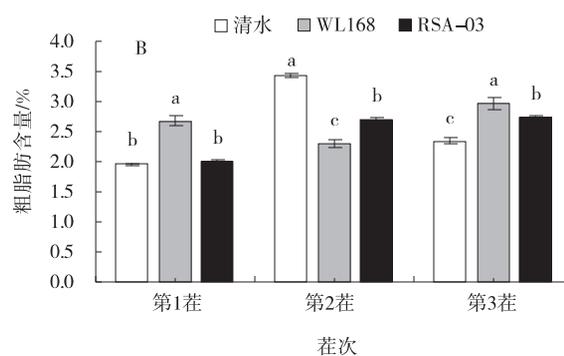
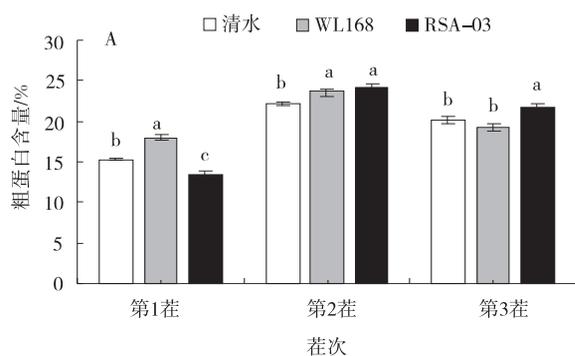


图2 各茬次的紫花苜蓿CP和EE含量

Fig. 2 The CP and EE content of alfalfa in different cuts

第1茬,清水的NDF含量(56.86%)较WL168(50.17%)显著高出13.33%($P<0.05$)(图3-A);RSA-03的NDF含量(55.19%)比WL168显著高出10.01%,而较清水显著低出2.93%。第2茬,清水、WL168和RSA-03的NDF含量在三者之间差异不显著。第3茬,WL168的NDF含量(45.80%)较清水(43.56%)显著高出5.13%,RSA-03的NDF含量(21.73%)较WL168显著低出5.17%,而与清水差异不显著。

第1茬,WL168的ADF含量(40.73%)与清水

(39.12%)的差异不显著(图3-B);RSA-03的ADF含量(42.37%)较清水显著高出4.12%,而与WL168差异不显著。第2茬,WL168的ADF含量(43.57%)较清水(39.93%)显著高出9.11%;RSA-03的ADF含量(2.70%)较清水和WL168分别显著低出10.55%和18.02%。第3茬,清水的ADF含量(28.91%)较WL168(22.32%)显著高出29.52%($P<0.05$);RSA-03的ADF含量(25.74%)较清水显著低出10.97%,RSA-03的ADF含量较WL168显著高出15.31%。

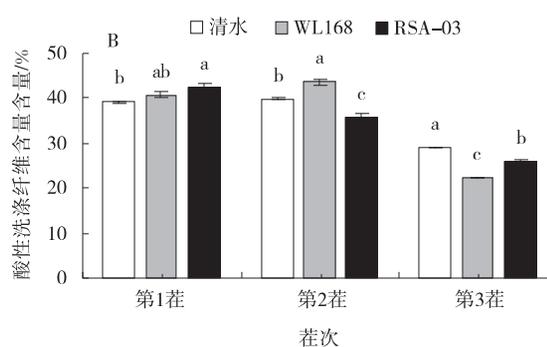
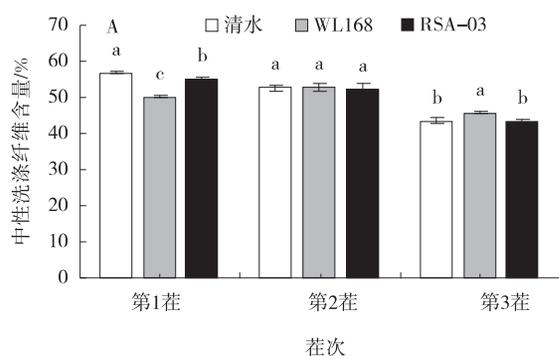


图3 各茬次的紫花苜蓿NDF和ADF含量

Fig. 3 NDF and ADF contents of alfalfa in different cuts

第1茬,WL168的Ash含量(9.33%)较清水(7.85%)显著高出18.85%($P<0.05$)(图4-A);RSA-

03(8.77%)的Ash含量比清水显著低出11.72%,而与WL168差异不显著。第2茬,WL168、清水和RSA-03

的Ash含量在三者之间无差异性显著。第3茬,WL168的Ash含量(9.41%)较清水(8.58%)显著高出9.67%,RSA-03(21.73%)的Ash含量较WL168显著高出9.03%,而与清水差异不显著。

第1茬,WL168的RFV值(105.17)较清水(94.89)显著高出10.83%($P<0.05$)(图4-B);RSA-03的RFV值(93.42)比WL168显著低出11.17%,而

与清水差异不显著。第2茬,清水的RFV值(101.46)与WL168(96.01)的差异不显著;RSA-03的RFV值(104.81)较WL168显著高出9.17%,而与清水差异不显著。第3茬,WL168的RFV值(114.74)与清水(141.13)的差异不显著,RSA-03的RFV值(146.87)较清水显著高出14.77%,而与WL168差异不显著。

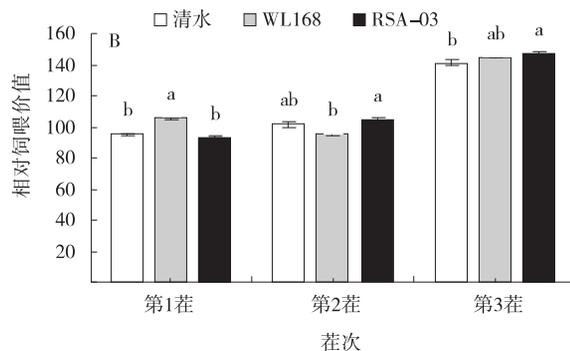
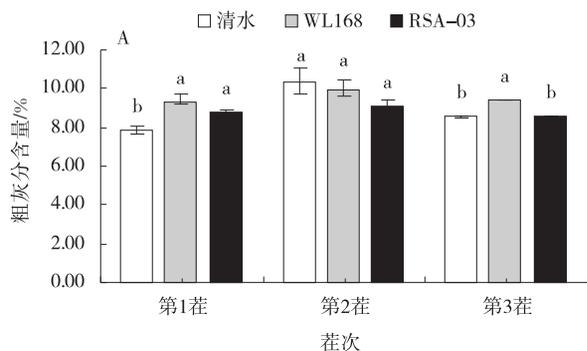


图4 各茬次的紫花苜蓿 Ash和RFV含量

Fig. 4 The Ash and RFV contents of alfalfa in different cuts

2.3 不同茬次下杂交选育系与其亲本的营养品质比较

不同茬次下清水的营养品质相关指标比较,CP和EE含量:第2茬>第3茬>第1茬;NDF含量:第1茬>第2茬>第3茬;ADF含量:第2茬>第1茬>第3茬;Ash含量,第2茬>第1茬,第2茬>第3茬;RFV值:第3茬>第2茬>第1茬($P<0.05$)。

不同茬次下WL168的营养品质相关指标测定中,CP含量:第2茬>第3茬>第1茬;EE含量:第1茬>

第2茬,第3茬>第2茬;NDF和ADF含量:第2茬>第1茬>第3茬;RFV值:第3茬>第1茬>第2茬($P<0.05$)。

不同茬次下RSA-03的营养品质相关指标表现,CP含量:第2茬>第3茬>第1茬;EE含量:第3茬>第1茬,第2茬>第1茬;NDF含量:第1茬>第3茬,第2茬>第3茬;ADF含量:第1茬>第2茬>第3茬;RFV值:第3茬>第2茬>第1茬($P<0.05$)。

表3 不同茬次下杂交选育系与其亲本的营养品质比较

Table 3 Comparison of nutritional quality of hybrid strain and their parents under different cuts

名称	茬次	CP/%	EE/%	NDF/%	ADF/%	Ash/%	RFV
清水	1	15.24+0.11 ^c	1.95+0.02 ^c	56.86+0.41 ^a	39.12+0.25 ^b	7.85+0.17 ^b	94.89+0.81 ^c
	2	22.18+0.19 ^a	3.42+0.04 ^a	52.63+0.96 ^b	39.93+0.28 ^a	10.39+0.63 ^a	101.46+2.23 ^b
	3	20.19+0.41 ^b	2.34+0.05 ^b	43.56+0.62 ^c	28.91+0.12 ^c	8.58+0.06 ^b	141.131.81 ^a
WL168	1	17.91+0.49 ^c	2.68+0.10 ^a	50.17+0.31 ^b	40.74+0.76 ^b	9.33+0.37 ^a	105.17+1.09 ^b
	2	23.63+0.34 ^a	2.29+0.07 ^b	52.83+1.20 ^a	43.57+0.57 ^a	9.93+0.52 ^a	96.011.56 ^c
	3	19.31+0.29 ^b	2.96+0.09 ^a	45.80+0.14 ^c	22.32+0.21 ^c	9.41+0.03 ^a	144.74+0.59 ^a
RSA-03	1	13.51+0.31 ^c	1.99+0.04 ^b	55.19+0.30 ^a	42.37+0.76 ^a	8.77+0.13 ^a	93.42+0.53 ^c
	2	24.14+0.49 ^a	2.70+0.04 ^a	52.48+1.22 ^a	35.71+0.70 ^b	9.13+0.29 ^a	104.81+1.12 ^b
	3	21.73+0.41 ^b	2.73+0.02 ^a	43.43+0.59 ^b	25.74+0.69 ^c	8.56+0.03 ^a	146.88+0.94 ^a

注:图中不同小写字母表示不茬次间差异显著($P<0.05$)。

2.4 杂交选育系与其亲本3茬平均营养品质指标差异分析

3茬紫花苜蓿营养品质相关指标平均值,以

WL168的CP含量较清水显著高出5.62%($P<0.05$);RSA-03与清水、WL168的差异不显著。WL168的EE含量与清水的差异不显著,而RSA-03

较 WL168 显著低出 6.44%，而与清水差异不显著。WL168 的 NDF 含量较清水显著低出 2.78% ($P < 0.05$)；而 RSA-03 与清水和 WL168 的差异不显著。WL168 的 ADF 含量与清水的差异不显著，而 RSA-03 显著低于清水和 WL168 ($P < 0.05$)，分别低出 2.62%

和 3.84%。WL168 的 Ash 含量较清水显著高出 6.94%，RSA-03 较 WL168 显著低出 7.74%，而与清水差异不显著。WL168 的 RFV 值较清水显著高出 2.50%，RSA-03 较清水显著高出 2.26%，而与 WL168 的差异不显著。

表 4 3 茬紫花苜蓿品质相关指标平均值

Table 4 The Mean values of quality-related indicators of alfalfa for 1-3 cuts

名称	CP 含量/%	EE 含量/%	NDF 含量/%	ADF 含量/%	Ash 含量/%	RFV	
亲本材料	清水	19.20+0.07 ^b	2.57+0.01 ^{ab}	51.02+0.26 ^a	35.99+0.14 ^a	8.94+0.17 ^b	112.49+0.45 ^b
	WL168	20.28+0.25 ^a	2.64+0.07 ^a	49.60+0.25 ^b	35.54+0.19 ^a	9.56+0.01 ^a	115.30+0.49 ^a
杂交选育系	RSA-03	19.79+0.36 ^{ab}	2.47+0.03 ^b	50.37+0.56 ^{ab}	34.61+0.25 ^b	8.82+0.08 ^b	115.03+0.50 ^a

2.5 营养品质灰色关联度评价

灰色系统理论认为，品种关联度越大，越靠近理想品种^[16]。由于供试材料的营养品质相关指标其值不同，不能直接进行比较，需对各指标进行标准化处理，对已筛选的 6 个营养品质相关指标采用均值化法进行无量纲化处理，得到相应的关联系数(表 5)。根据权重系数公式计算得出：RFV (0.1580) > NDF

(0.1528) > ADF (0.1461) > EE (0.1368) > Ash (0.1234)。根据表 6 等权关联系数对供试材料的营养价值进行综合评价，其排序依次为：WL168 > RSA-03 > 清水，RSA-03 等权关联度位次优于清水，其加权关联度位次也优于清水。说明与优质 WL168 杂交，一定程度上改善了清水的营养品质。

表 5 供试材料的关联系数及权重

Table 5 The correlation coefficients and weight of test materials

名称	CP	EE	NDF	ADF	Ash	RFV
清水	0.669 4	0.794 9	0.802 5	0.747 8	0.617 7	0.815 9
WL168	0.979 6	0.977 6	0.996 8	0.814 2	0.970 0	0.987 1
RSA-03	0.809 8	0.626 4	0.880 9	1.000 0	0.577 1	0.967 6
等权关联度 r_i	0.819 6	0.798 0	0.893 4	0.854 0	0.721 6	0.923 6

表 6 供试材料的关联度及排序

Table 6 The correlation and rank of test materials

名称	品种等权关 联度 r_i	加权关联度 r_i^{***}	排序
清水	0.741 4	0.639 5	3
WL168	0.954 2	0.817 9	1
RSA-03	0.810 3	0.703 9	2

3 讨论

产量是通过物质和能量的转化所生产和积累的各种有机物的总量，是衡量植物生产性能和经济性能的重要指标，也是育种的主要目标之一^[17]。赵海明等^[17]对 14 个紫花苜蓿品种的干草产量研究表明，第 1

茬 > 第 2、3 茬 > 第 4 茬；杨小翠等^[18]研究表明，2 年结果都以第 1 茬产量最高，占总产量的 38%。本研究中，不同茬次下清水、WL168 和 RSA-03 的产量均呈现：第 1 茬 > 第 2 茬 > 第 3 茬，与赵海明等^[17]与杨小翠等^[18]的研究结果相似。王虹^[15]对甘农 3 号、甘农 5 号和游客紫花苜蓿以及多元杂交后代选育的 16 个株系的产量性能进行连续两年的大田对比试验，筛选出白花 1# 和速生 12#；前人有关不同杂交组合及其亲本的苜蓿产量性状优势表现的研究较多，由于研究材料不同，其结果不尽相同^[4,15,19]；本研究中，RSA-03 的干草产量较 WL168 低出 8.88%，而较清水高出 31.11%，说明与 WL168 杂交，改善了亲本清水的低产量特征。

高营养品质的苜蓿应该具有高蛋白、易消化吸

收、适口性好3大特征^[20],CP是家畜必不可少的营养物质,能够满足动物蛋白质需求^[21];EE是热能的主要原料,具有芳香气味,影响适口性^[22];Ash含量样品灼烧后所剩的残渣^[23],代表饲草中无机矿物元素的多寡;ADF和NDF含量影响消化率和适口性^[16];RFV是代表反刍动物对饲草的可消化干物质的随意采食量和能量价值指数^[23],其值越大,品质越佳^[16,23]。王丽学等^[24]和刘玉华^[25]研究表明,不同茬次之间苜蓿品质差异均较大,以第1茬最优;李敏^[26]的研究结果表明,不同茬次下各苜蓿品种的各营养指标各有优劣,并无绝对优势品种;阿芸等^[27]研究发现,第2、3茬的CP含量和RFV值均高于第1、4茬,而第3茬高于第2茬,NDF和ADF含量均表现为与其相反。本研究中,3个苜蓿种质的CP含量均表现为第2茬>第3茬>第1茬,且其RFV均表现为第3茬显著高于第1、2茬,而其他指标在不同茬次间不尽相同,与李敏等^[26]和阿芸等^[27]的结论相近。与其他研究不同的主要原因有,不同材料之间具有多态性,亲本与子代之间自身遗传特性不同^[11,13],另外,可能是不同气候、管理措施和土壤条件的差异所致^[27]。

育种过程中的亲本除了要符合优点多、缺点少、性状互补等选配原则外,亲本的优良性状还必须具有较强的遗传传递力^[11,15]。本课题组前期研究表明,与亲本清水相比,RSA-03的地上生物量和茎粗都具有显著的杂种优势^[4];通过相对端粒长度的变化率划分供试材料的寿命类型,发现寿命相对较长的材料(清水、WL168和RSA-03)、中等(RSA-02)和相对较短的材料(RSA-01)^[8];通过对其产量性能评价得出:WL168>RSA-03>RSA-01>RSA-02>清水^[28]。所以,本研究以RSA-03及其亲本为研究对象,发现WL168的CP、Ash含量和RFV较清水显著高出5.62%、6.94%和2.50%,WL168的NDF含量较清水显著低出2.78%,说明WL168是有品质优良的本材料;RSA-03的ADF含量较清水和WL168显著低出2.62%和3.84%,RSA-03的RFV值较清水显著高出2.26%,说明与优质的WL168杂交,亲本清水的营养品质得到一定程度的改善。

育种目标要紧密结合生产需要,培育国民经济和生态建设急需的优良品种;高产优质的苜蓿与经济收

入密切相关^[29-30]。灰色关联分析法可以更为客观、全面的评判苜蓿的营养品质^[31],再结合田间的实际应用来作出科学的选择决定^[32-33]。本研究中,营养品质综合评价得出:WL168>RSA-03>清水,结合前期研究,兼顾产量性能和营养品质进行全面分析,RSA-03的株高、茎粗和干草产量较清水高出12.04%、8.81%和20.64%($P<0.05$),说明清水的低产量性能也得到了改善^[28]。综上所述,选育系RSA-03是产量高且品质优以及寿命较长的放牧型牧草^[4,8,28],后期可进行试验推广,这对放牧型草地的建植具有重要现实意义。本研究通过栽培型种植分析RSA-03的生产性能,具有一定的局限性,在未来,笔者将在天然草地及人工放牧草地进行种植,从形态、生理及分子等方面全面又系统的探究其抗性、耐牧性及生态价值。

4 结论

与亲本清水相比,RSA-03的产量和RFV的杂种优势突出,其产量表现:第1茬>第2茬>第3茬,RFV为第3茬显著高于第1和2茬。经灰色关联度法对营养品质评价得出:WL168>RSA-03>清水,与高产优质的WL168紫花苜蓿杂交,亲本清水紫花苜蓿的产量、营养品质、相对饲喂价值和适口性得到一定程度的改良,RSA-03适宜于放牧型草地的建植利用。

参考文献:

- [1] 南丽丽,师尚礼,朱新强,等.不同根型苜蓿苗期对干旱胁迫的生理耐受性分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):106-110.
- [2] 程渡,崔鲜一,彭玉梅,等.适宜放牧的“图牧3号”和“图牧4号”根蘖型苜蓿新品种选育及放牧利用研究[J].内蒙古草业,2004,16(1):9-10.
- [3] 王铁梅.苜蓿根蘖性状发生及其调节机制研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [4] 阿芸,师尚礼,李自立,等.‘清水’苜蓿与‘WL168’杂交后代的表型特征及生理特性[J].草地学报,2021,29(10):2184-2190.
- [5] 李自立,师尚礼,阿芸,等.清水紫花苜蓿育性变异材料鉴定分析与生理研究[J].草业学报,2022,31(10):135-144.
- [6] 陈立强,师尚礼,马春晖.野生及栽培苜蓿种质资源遗传多样性的同工酶分析[J].草业科学,2014,31(6):1070-1079.

- [7] 张雪婷,师尚礼,张小甫. 陇东野生紫花苜蓿的核型分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(1):150-157.
- [8] A Yun, Shi S L, Sun S J, *et al.* Telomerase activity, relative telomere length, and longevity in alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. PeerJ, 2022, 10: e14102.
- [9] Suchowilska E, Wiwart M, Krska R, *et al.* Do *triticum aestivum* L. and *triticum spelta* L. hybrids constitute a promising source material for quality breeding of new wheat varieties? [J]. Agronomy, 2020, 10(1):43.
- [10] Charya J P, Lopez Y, Gouveia B T, *et al.* Breeding Alfalfa (*Medicago sativa* L.) adapted to subtropical agroecosystems[J]. Agronomy, 2020, 10(5):742.
- [11] 王虹,师尚礼,张旭业,等. 紫花苜蓿多元杂交后代产量和品质一般配合力分析及遗传参数的估算[J]. 草业学报,2016,25(3):126-134.
- [12] 方强恩. 紫花苜蓿根颈芽发育成枝及越冬休眠特性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.
- [13] Machado A O, Cecato U, Mira R T, *et al.* Evaluations of chemical composition and in vitro dry matter digestibility of cultivars and accessions of *Panicum maximum* Jacq. under two cutting heights[J]. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, 1998, 27(5):1057-1063.
- [14] 南丽丽,师尚礼,郭全恩,等. 根茎型清水苜蓿鲜草产量及营养价值评价[J]. 中国草地学报,2012,34(5):63-68.
- [15] 王虹,师尚礼. 紫花苜蓿多元杂交后代优良株系的评价与筛选[J]. 草业科学,2015,32(11):1838-1846.
- [16] 李岩,徐智明,李争艳,等. 14个紫花苜蓿品种草产量及营养品质的综合评价[J]. 草原与草坪,2019,39(4):85-91.
- [17] 赵海明,武瑞鑫,李源,等. 紫花苜蓿不同茬次及年际间生产性能的动态规律[J]. 草地学报,2016,24(6):1349-1357.
- [18] 杨小翠,何庆元,詹秋文,等. 3个紫花苜蓿品种在淮河中下游地区的产量和品质分析[J]. 草地学报,2017,25(6):1393-1396.
- [19] 艾辛,蒋建雄,陈智勇,等. 荻和南荻杂交种F1群体主要农艺性状的杂种优势、遗传及相关性分析[J]. 草业学报,2017,26(2):111-122.
- [20] 曾庆飞,贾志宽,韩清芳,等. 施肥对苜蓿生产性能及品质影响的研究综述[J]. 草业科学,2005,22(7):8-15.
- [21] 郑敏娜,梁秀芝,韩志顺,等. 不同苜蓿品种在雁门关地区的生产性能和营养价值研究[J]. 草业学报,2018,27(5):97-108.
- [22] 张鸭关,薛世明,匡崇义,等. 云南北亚热带冬闲田引种优良牧草的灰色关联度分析与综合评价[J]. 草业学报,2007,16(3):69-73.
- [23] 孙雷雷,赵桂琴,柴继宽,等. 贮藏方式和时间对紫花苜蓿干草营养品质的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(6):33-38.
- [24] 王丽学,冯婧,马强,等. 不同刈割时期和留茬高度紫花苜蓿品质动态研究[J]. 中国饲料,2018(3):40-44.
- [25] 刘玉华. 不同苜蓿(*Medicago Sativa*)品种品质特性的分析及评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2003.
- [26] 李敏,张宁,王燕,等. 不同茬次的三种苜蓿营养成分的研究[C]//中国畜牧业协会. 第四届中国苜蓿发展大会论文集. 中国畜牧业协会:中国畜牧业协会,2011:330-333.
- [27] 阿芸,师尚礼,金小雯,等. 紫花苜蓿与草地早熟禾轮作牧草的养分变化特征[J]. 草原与草坪,2019,39(1):28-34.
- [28] A Yun, Shi S L, Gong W L, *et al.* Cross-breeding improvement and performance analysis of dominant production traits in grazing-type alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. BioMed Research International, 2022, 2022:1-10.
- [29] Marcondes M M, Faria M V, Mendes M C, *et al.* Breeding potential of S-4 maize lines in topcrosses for agronomic and forage traits [J]. Acta Scientiarum—Agronomy, 2016, 38(3):307-315.
- [30] Haki J, Mofidian S M A, Kozová Z, *et al.* Estimation of lucerne yield stability for enabling effective cultivar selection under rainfed conditions[J]. Grass and Forage Science, 2019, 74(4):687-695.
- [31] 吴芳. 61份俄罗斯百脉根种质材料饲用性能及光合特性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2018.
- [32] 肖逸,杨忠富,裴刚,等. 12个多花黑麦草品种(系)在成都平原的生产性能和营养价值综合评价[J]. 草业学报,2021,30(5):174-185.
- [33] 柳海鹰. 锡林浩特地区49个苜蓿品种的适应性及生产性能评价[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2017.

Study on yield and nutritional quality of hybrid improved progeny of rhizome-rooted Qingshui *Medicago sativa*

A Yun^{1,2}, SHI Shang-li^{1*}, ZHANG Xiao-yan¹

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. College of Ecology and Environmental Science, Qinghai University of Science and Technology, Xining 810016, China)

Abstract: 【Objective】 Rhizome-rooted *Medicago sativa* cv. Qingshui is an excellent germplasm for establishing grazing and ecological grasslands, but its forage production performance is low. The purpose of this study was to improve the production performance of Qingshui alfalfa. 【Method】 The hybrid progeny selection strain RSA-03 of Qingshui and creeping-rooted *Medicago sativa* ‘WL168’ was used as the research object, and the parental Qingshui and WL168 were served as the control. The heterosis of hay yield, crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude ash (Ash) content and relative feed value (RFV) under different cuts were analyzed to investigate the yield trait and nutritional value. 【Result】 1) The annual hay yield of RSA-03 was lower than that of WL168 by 8.88%, while it was higher than that of Qingshui by 31.11%, indicating that the yield of RSA-03 showed obvious heterosis. The yields of WL168, Qingshui and RSA-03 showed: first cut > second cut > third cut. 2) The ADF content of RSA-03 was significantly lower than that of Qingshui and WL168 by 2.62% and 3.84%, respectively, and the RFV of RSA-03 was significantly higher than that of Qingshui by 2.26%, indicating that the ADF content and RFV of RSA-03 showed obvious heterosis. The results showed that the nutritional value of all three varieties was different under each cut. 3) The evaluation of their nutritional value by gray correlation method concluded that WL168 > RSA-03 > Qingshui. 【Conclusion】 The yield, nutritional quality, relative feed value and palatability of the parental Qingshui were improved to some extent after crossing it with the high yield and superior quality WL168, and the selected strain RSA-03 is suitable for the establishment of grazing-type grassland.

Key words: *Medicago sativa* cv. Qingshui; WL168; yield; nutritional quality; heterosis; gray correlation method

(责任编辑 靳奇峰)