

切段长度、种植深度和覆草对矩镰荚苜蓿根茎出芽和成苗生长的影响

魏甲科,杨小霞,方强恩

(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)

摘要:为探究对矩镰荚苜蓿(*Medicago archiducis-nicolai*)根状茎切段无性繁殖的影响因素,以祁连山东段高山草甸自然分布的矩镰荚苜蓿为试验材料,设置2个切段长度(20 cm和10 cm)、2个种植深度(10 cm和5 cm)、3个覆草措施(覆草3 cm、覆草1 cm和无覆草)共12个处理,研究了不同处理对矩镰荚苜蓿根茎出芽和成苗生长的影响。结果表明:1)覆草措施对成苗率、叶龄和单株地下生物量有显著影响,无覆草处理下成苗率、叶龄和单株地下生物量最高,3 cm覆草次之;2)切段长度和种植深度均对成苗率有显著影响,分别在20 cm切段长度和5 cm种植深度处理下成苗率最高;3)多因素方差分析结果显示,只有覆草厚度×种植深度交互作用对根茎繁殖产生显著影响,且仅对单株地上生物量影响显著,在10 cm种植深度和0 cm覆草厚度交互处理下,单株地上生物量最大;4)TOPSIS模型综合评价分析显示,20 cm切段长度×10 cm种植深度×0 cm覆草组合处理,是矩镰荚苜蓿根状茎无性繁殖的最佳栽培条件。

关键词:矩镰荚苜蓿;根状茎;无性繁殖;生长指标

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)04-0031-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2022.04.005



青藏高原是我国草地畜牧业发展的重要区域。自然环境恶劣,植物生长季短,导致豆科优良牧草缺乏,是制约青藏高原草地畜牧业发展的重要原因^[1]。多年来,研究者尝试引入耐寒的豆科牧草品种改变这一现状,但高寒地区海拔高、年积温低等自然条件致使多数豆科牧草品种难以越冬和正常生长^[2]。因此寻找越冬能力强的本土牧草种质资源,培育优良的抗寒品种是解决青藏高原高寒草地牧草问题的重要途径^[3]。

矩镰荚苜蓿(*Medicago archiducis-nicolai*)属豆科(Leguminosae)苜蓿属(*Medicago*)多年生植物,分

布于我国西北高寒地区^[4],对寒冷、干旱、贫瘠土壤以及较短生长季等有很强的适应性^[5],是我国高寒地区具有很大开发潜力的重要牧草种质资源^[6]。矩镰荚苜蓿属克隆型植物,同时具有无性和有性繁殖机制。为了应对恶劣的自然条件,它选择将资源主要投入到营养生长阶段,通过地下根状茎的快速扩繁以实现资源的占有和对贫瘠生长环境的躲避,最终导致在种子繁殖方面资源配比较少^[7]。所以,自然生境下,矩镰荚苜蓿结实率和种子发芽率都很低。无性繁殖是当前解决矩镰荚苜蓿推广种植中繁殖难题的可行途径。目前,关于苜蓿无性繁殖的对象多为紫花苜蓿(*M. sativa*)和黄花苜蓿(*M. falcata*),无性繁殖方式以茎段扦插和根扦插为主^[8-9],而矩镰荚苜蓿无性繁殖的相关研究报道较少。探寻矩镰荚苜蓿适宜的无性繁殖条件,实现该植物的快速扩繁种植,对高寒草地畜牧业可持续发展有重要意义。

本试验选取祁连山东段高寒草甸自然分布的矩

收稿日期:2021-04-19; **修回日期:**2021-05-25

基金项目:国家自然科学基金项目(31760703)

作者简介:魏甲科(1996-),男,甘肃省白银人,硕士研究生。E-mail:1429992769@qq.com

方强恩为通讯作者。E-mail:fangqen@163.com

镰荚苜蓿根状茎为研究对象,研究其在原生环境下,切段长度、种植深度和覆草厚度及其三者之间的交互作用对矩镰荚苜蓿根状茎片段出芽和成苗生长的影响,筛选出最佳的栽培条件,以期在矩镰荚苜蓿在高寒地区种植推广提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙镇甘肃农业大学天祝高山草原生态系统试验站(E 102°79'11.01", N 37°19'67.33")。试验地平均海拔高度3 022 m,地势较平坦,属高寒湿润气候,无绝对无霜期,年均气温-0.1 °C,全年 ≥ 0 °C的年积温1 300 °C。每年雨季多为7~9月,年平均降水量400 mm,年蒸发量1 590 mm。土壤类型为高山黑钙土,土壤pH值7.0~8.2,土壤有机质含量为10%~16%^[8,11]。

1.2 试验材料

试验地选取试验站内原牧草栽培地,前茬种植燕麦。2019年5月1日,对地块进行翻耕、取杂、耙平后备用。在试验站内的禁牧草地,选择生长良好的矩镰荚苜蓿,挖掘其地下根状茎。采挖时尽可能保证地下根茎的完整性。然后选择粗细均匀且生长状态良好的根茎,剪成10 cm(保证有3个有活力的繁殖节)和20 cm(保证有5个有活力的繁殖节)长的片段备用。覆草材料选取当地天然草地上自然干枯的植物茎和叶,切割为5 cm左右备用。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计,主区为覆草厚度,副区为切段长度和种植深度。覆草厚度处理为3、1和0 cm(无覆盖);根茎切段长度设置两个,为10、20 cm;种植深度也设置两个,为5、10 cm。小区面积为2 m \times 1 m,每个小区等分成4 \times 5共20个小块,每个小块面积为20 cm \times 40 cm。种植时,在每个小块中央埋植一个根状茎片段。小区行间距为50 cm,每个处理设4个重复。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 成苗率 待根茎出芽结束时(种植后60 d),统计试验小区矩镰荚苜蓿根状茎成苗的数量。

$$\text{成苗率}(\%) = \frac{\text{成苗根茎切段数(单位面积)}}{\text{总根茎切段数(单位面积)}} \times 100\%$$

1.4.2 叶龄 叶龄是植物个体发育的综合反映,在一定程度上可以表示植物的发育进程^[12]。本试验中矩镰荚苜蓿个体发育进程采用叶龄来表示。记录时,从主茎上第一片真叶算起,自下而上逐节统计完全展开的叶片数。完全展开1个叶片,计为1叶龄,展开约一半,记为0.5叶龄。试验记录开始时对每株新生苗进行标记定位,15天记录一次叶龄,跟踪记录至生长季结束(10月1日)。

1.4.3 株高 植株停止生长后,测量主茎绝对株高(10月1日)。

1.4.4 单株地上、地下生物量 2019年10月2日,在每个小区随机选取10个再生植株,将每个植株剪成地下和地上两部分,分别装进信封,做好标记。放进105 °C烘箱中杀青0.5 h,75 °C继续烘干至恒重,测量单株地上、地下生物量。

1.4.5 TOPSIS模型综合评价分析 TOPSIS是一种逼近理想目标的顺序排列方法^[13]。分析前,先对数据进行规范化矩阵,找到理想目标(最优和最劣解),分别计算评价目标与理想目标的欧式距离,得出贴近度,再对贴近度按大小排序进而得到评价目标的最优决策。贴近度在0~1,越贴近1表示越接近最优结果,反之,越贴近0,则表示越差。在多目标决策分析中TOPSIS是一种非常有效的方法^[14]。

本试验利用TOPSIS模型综合评价分析覆草厚度、切段长度和种植深度对矩镰荚苜蓿根状茎生长的影响,筛选出最贴近理想目标的处理组合作为最优决策。建模和求解步骤如下:

1) 决策矩阵标准化

设指标集(矩镰荚苜蓿生长指标)为 $A=(A_1, A_2, \dots, A_n)$,方案集(试验处理)为 $B=(B_1, B_2, \dots, B_m)$,指标 A_i 到方案 B_j 的值为 x_{ij} ,则形成决策矩阵 $M=(x_{ij})_{n \times m}$,即

$$M = \begin{pmatrix} & B_1 & B_2 & \cdot & \cdot & \cdot & B_m \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1m} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ A_n & x_{n1} & x_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{nm} \end{pmatrix}$$

将决策矩阵进行标准化处理,得到标准化矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times m}$

2) 构造加权决策化矩阵

利用收益型指标:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}$$

和成本型指标:

$$r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}$$

计算出各指标权重 W_j 。

加权标准化决策矩阵 $Z_{ij} = R \times W_j$

3) 确定正理想方案和负理想方案

正理想方案: $y^+ = \max Z_{ij}$

负理想方案: $y^- = \max Z_{ij}$

4) 计算各方案到正理想方案和负理想方案的欧式距离

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - y_j^+)^2} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - y_j^-)^2}$$

5) 计算各方案贴合度 S_i

贴合度 S_i 范围在 0 到 1 之间, 越贴近 1 表示越接近最优结果, 反之, 越贴近 0, 则表示越差。

$$S_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}$$

1.5 统计分析

用 Microsoft Excel 2019 进行数据记录整理和初

步分析, SPSS 20.0 进行单因素 (one-way ANOVA) 以及三因素方差分析 (three-way ANOVA), 显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。使用 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 切段长度、种植深度和覆草厚度交互作用对矩镰茛苳根茎出芽和成苗生长的影响

覆草厚度对叶龄、单株地下生物量、单株地上生物量和成苗率的影响显著 ($P < 0.05$), 但对株高无显著影响, 其中对单株地上生物量影响极其显著。切段长度仅对成苗率有显著性影响。种植深度对单株地上生物量和成苗率有显著性影响。覆草厚度 \times 种植深度交互作用对单株地上生物量的影响有显著性。切段长度、种植深度、覆草厚度 \times 切段长度、覆草厚度 \times 种植深度、切段长度 \times 种植深度、覆草厚度 \times 切段长度 \times 种植深度的交互作用, 对叶龄、单株地下生物量无显著影响 (表 1)。

通过上述分析可知, 除单株地上生物量外, 各处理间的交互作用对矩镰茛苳生长指标均无显著影响, 因此, 进一步对覆草厚度、切段长度和种植深度 3 种处理条件下, 覆草厚度 \times 种植深度交互作用对单株地上生物量的影响进行了显著性分析, 对其余生长指标分别做各处理下的单因素方差分析。

表 1 主效因素和交互作用对矩镰茛苳生长指标显著性分析

Table 1 Significant analysis of main factors and interaction on growth indexes of *Medicago archiducis-nicolai*

变异来源	df	叶龄	绝对株高	单株地下生物量	单株地上生物量	成苗率
覆草厚度	2	0.009*	0.072	0.032*	0.000***	0.003*
切段长度	1	0.948	0.405	0.666	0.243	0.001**
种植深度	1	0.968	0.463	0.331	0.043*	0.009*
覆草厚度*切段长度	2	0.199	0.388	0.918	0.481	0.748
覆草厚度*种植深度	2	0.272	0.308	0.354	0.033*	0.940
切段长度*种植深度	1	0.509	0.767	0.985	0.642	0.462
覆草厚度*切段长度*种植深度	2	0.830	0.232	0.897	0.894	0.870

注: *显著性检验在 0.05 水平, **显著性检验在 0.001 水平, ***显著性检验在 0.0001 水平

2.2 覆草厚度 \times 种植深度交互作用对矩镰茛苳单株地上生物量的影响

种植深度为 10 cm 时, 覆草处理对单株地上生物量有显著性影响 ($P < 0.05$), 随着覆草厚度的减少, 单株地上生物量表现出先轻微下降后上升的趋势, 0 cm 覆草厚度时单株地上生物量最高, 为 0.23 g, 是 3 cm

覆草的 2.43 倍, 是 1 cm 覆草的 3.81 倍。种植深度为 5 cm 时, 随着覆草厚度的减少, 单株地上生物量的变化起伏程度较 10 cm 种植深度处理下平缓, 覆草处理对单株地上生物量没有显著性影响, 但与 1 cm 和 3 cm 覆草处理相比, 0 cm 覆草处理下的单株地上生物量最高 (图 1)。

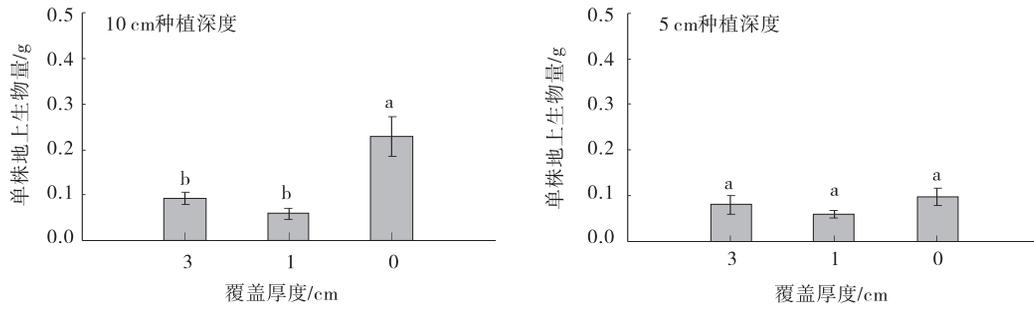


图1 受覆草厚度×种植深度交互作用下单株地上生物量

Fig. 1 Influence of the interaction of mulch thickness × planting depth on aboveground biomass per plant

2.3 覆草厚度对矩镰茛苜蓿根茎新生苗生长的影响

覆草处理对矩镰茛苜蓿根茎成苗率、新生苗叶龄数和单株地下生物量影响显著,但对株高影响不明显。与3 cm和1 cm覆草厚度处理相比,在0 cm覆草处理下,根茎成苗率最高,为 $(56.7 \pm 4.1)\%$,叶龄

数和单株地下生物量最大,分别为12.10、0.35 g。3 cm与1 cm覆草厚度处理相比,3 cm覆草厚度处理下,成苗率和单株地下生物量较高,但叶龄与单株地上生物量与1 cm覆草厚度处理没有显著差异(图2)。

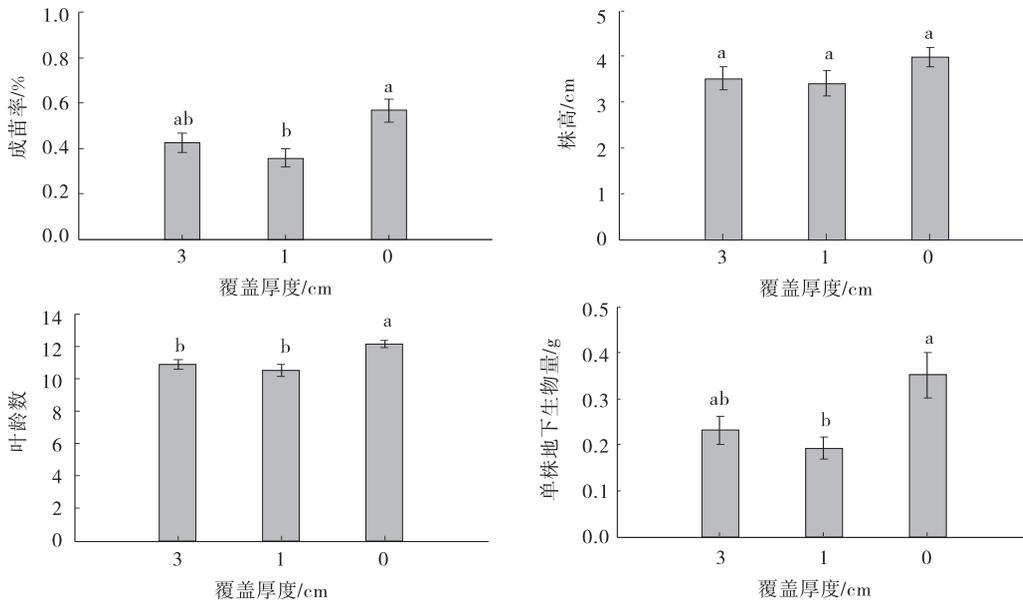


图2 覆草厚度处理下矩镰茛苜蓿新生苗生长指标

Fig. 2 The effect of the thickness of mulching grass on the growth index of alfalfa seedlings

注:不同小写字母代表不同处理间差异显著($P < 0.05$),竖杠代表标准误差。下同

2.4 切段长度对矩镰茛苜蓿根茎新生苗生长的影响

矩镰茛苜蓿根状茎切段长度仅对株高和成苗率造成了显著影响,对其他指标影响不明显。通过对比两种切段长度处理可以发现,20 cm处理下的成苗率比10 cm处理高出16.1%,同样株高也高出10 cm处理0.75 cm。虽然切段处理对叶龄和单株地下生物量没有显著性影响,但20 cm处理下的结果较高(图3)。

2.5 种植深度对矩镰茛苜蓿根茎新生苗生长的影响

不同种植深度处理下矩镰茛苜蓿根状茎新生苗指标表现出不同的结果(图4),10 cm深度时株高最

大,为 (4.43 ± 0.29) cm。但成苗率却相反,在5 cm种植深度下达到最高,为51.4%,高出10 cm处理12.7%。方差分析表明,矩镰茛苜蓿根茎成苗率和株高与种植深度处理差异显著($P < 0.05$),其他指标差异不显著($P > 0.05$)。

2.6 多准则决策模型-TOPSIS评价

建立TOPSIS模型,综合分析了覆草厚度、切段长度和种植深度对矩镰茛苜蓿根茎片段成苗率、叶龄、绝对株高、单株地上生物量、单株地下生物量等多项指标的影响。切段长度20 cm×种植深度10 cm×0 cm覆草

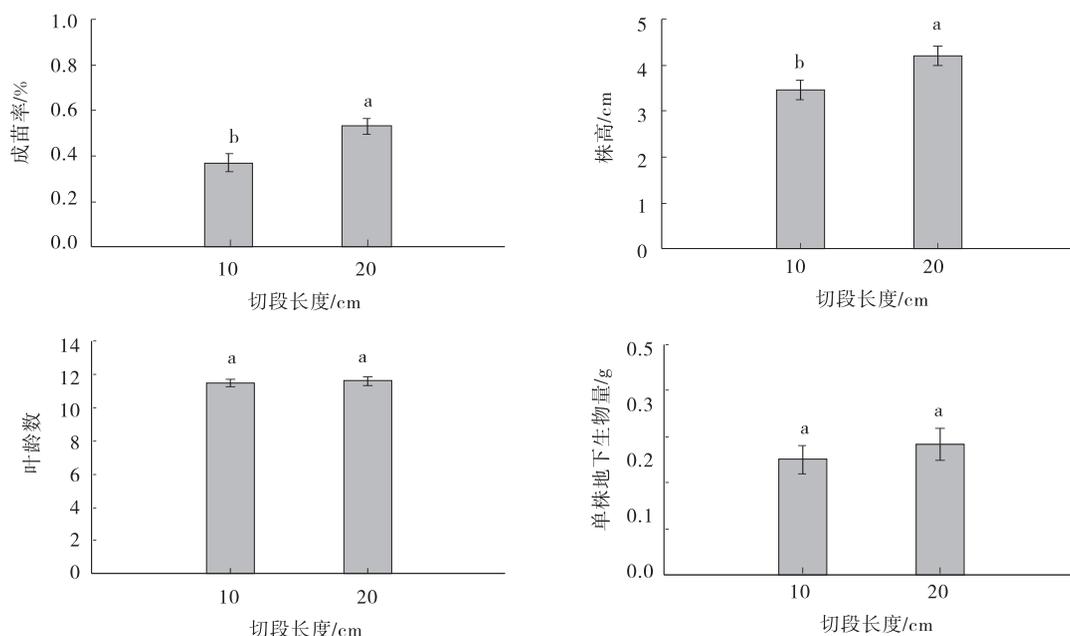


图 3 切段长度处理下矩镰茼苜蓿新生苗生长指标

Fig. 3 Influence of section length on growth index of alfalfa seedlings

厚度处理下理想贴度最高,为 0.94,切段长度 10 cm×种植深度 10 cm×覆草厚度处理下理想贴度最低,为 0.09,表明在青藏高原原生境地,0 cm 覆

草厚度、20 cm 切段长度和 10 cm 种植深度是矩镰茼苜蓿根状茎切段无性繁殖的最佳种植组合(图 5)。

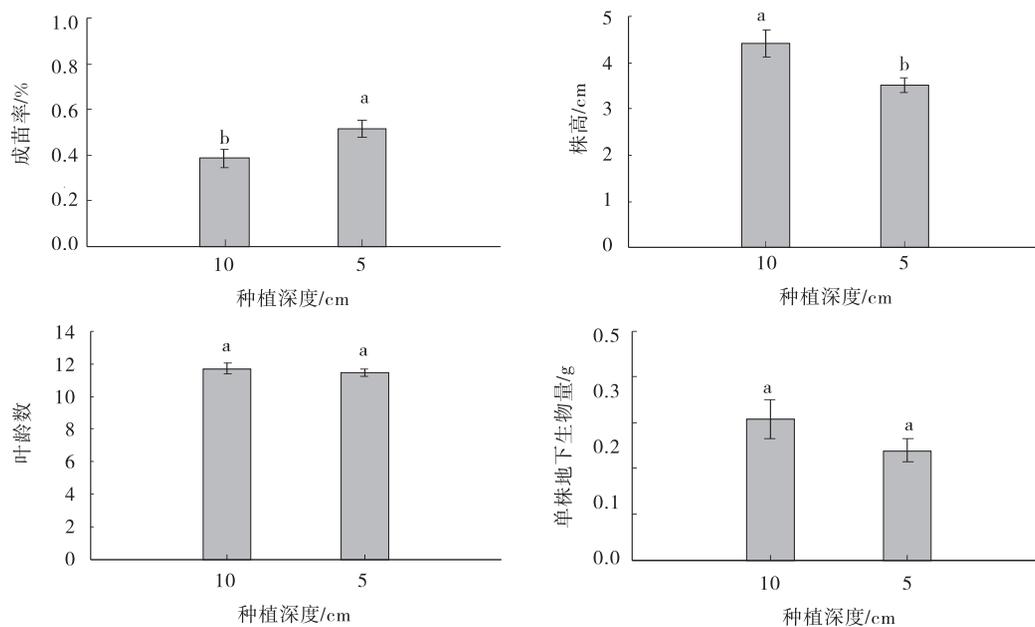


图 4 种植深度下矩镰茼苜蓿新生苗生长指标

Fig. 4 Effects of planting depth on growth indexes of alfalfa seedlings

3 讨论

3.1 环境因素对矩镰茼苜蓿根状茎繁殖的影响

凋落物是指自然死亡或因外界因素导致植物器官脱落、枯死散落在地表的植物残体。在草地生态系

统中,凋落物堆积形成物理阻隔层,进而影响周围植被群落的微环境^[15]。沈月等^[16]发现,凋落物添加可以显著增加羊草草地植被的地上和地下的初级生产力,表明凋落物添加有利于植被生长。由于凋落物的覆盖可以降低土壤水分蒸发^[17]、延缓土壤冻结^[18],减少

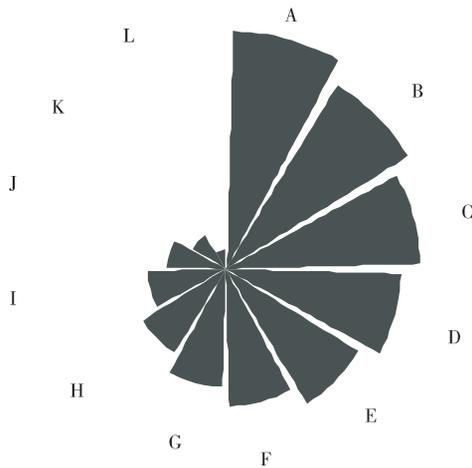


图5 不同覆草厚度、切段长度和种植深度的贴合度

Fig. 5 Fitting degree of different mulch thickness, section length and planting depth

杂草入侵^[19]等,从而促进了地下繁殖体生长发育。本试验通过地表覆盖枯草层进而模拟凋落物对矩镰茛苳根状茎出芽和成苗生长的影响。研究发现,覆草措施对矩镰茛苳叶龄、地上生物量、地下生物量和成苗率均有显著影响,且0 cm覆草处理结果最好,这与温明章等^[20]研究不同凋落物厚度对植株生长影响的结果不同。通常情况下,覆草处理主要可调节表层土壤的水热情况,进而影响被覆盖植物的生长。黄玉杰等^[22]研究发现,各覆草处理对土壤表层水温的影响中,土壤温度较对照(无覆盖)均有不同程度降低,土壤含水量较对照均有不同程度提高,并且随着覆草量减少,降温效果下降,这说明覆草厚度的减少,增加了地表辐射强度,使土壤温度上升。本试验地气候寒冷湿润^[21],土壤水分蒸发量少,因此相较于土壤水分变化对植物生长的影响,土壤温度变化的影响更为明显,在0 cm覆盖处理下,土壤温度上升,从而促进了矩镰茛苳的生长。

土壤作为草地植被生长过程中资源交换和营养获取的主要来源^[23],其自身的理化性质优劣是检验草地生态系统是否适宜植物生长的重要指标^[24]。而高寒草地土壤的含水量、有机质含量和pH值等理化性质会因土壤深度不同而出现变化。根茎型植物的根茎生长活动主要在土壤内进行,因此,土壤埋深也是根茎出芽的重要影响因素之一^[25-26]。本试验发现种植深度的变化对株高和单株地上生物量产生了显著影响,具体表现为10 cm深度种植根茎切段成苗后株高显著高于5 cm深度,10 cm种植深度×不同覆草

厚度处理对单株地上生物量产生了显著性影响,但5 cm种植深度×不同覆草厚度处理却没有。造成这一结果的主要原因是,10 cm种植深度下的土壤水分相较于5 cm更高,适宜矩镰茛苳的生长^[27]。

试验还发现随着土壤深度增加,成苗率反而出现下降的趋势,这与Li等^[28]研究根茎繁殖植物芦苇(*Phragmites australis*)在不同土壤埋深下成苗率的结果不同,他们发现5 cm和10 cm埋深对芦苇成苗率的影响不显著,这可能是芦苇根茎繁殖是在湿地进行,这种环境下5 cm深度和10 cm深度之间的土壤理化性质因较高土壤含水量而差异不显著。关于高寒地区不同土壤深度理化性质的研究,申紫雁等^[29]发现,黄河源区高寒草地0~20 cm土壤各理化性质之间差异不显著,裸地亦是如此。综合前人研究结果和本试验数据分析可知,5 cm和10 cm土壤深度间,在出苗期仅有土壤温度表现出较大差异,而作为植物出苗的重要条件,较低的温度会抑制植物的生长,较深的土壤因为受太阳光照的影响低于浅层,因此温度也较浅层土壤低,所以矩镰茛苳在10 cm深度土壤成苗率低于较5 cm处理。虽然成苗率在5 cm时更高,但综合其他生长指标可知10 cm种植深度更适合矩镰茛苳的生长。

3.2 生物因素对矩镰茛苳根状茎繁殖的影响

在高寒地区,如祁连山东段,较多高寒植物选择无性和有性繁殖方式同时兼顾的繁殖策略^[30-31],其中一部分植物更是将无性繁殖作为主要的繁殖策略^[32],矩镰茛苳亦是如此。矩镰茛苳的根状茎在土壤内通过多方向的延长,从而实现营养的收集和资源在空间上的占领和利用,并用相同的方法规避资源贫瘠环境^[33]。本试验研究发现,随着根状茎增长,根茎成苗率越高,这与汤俊兵等^[34]研究根茎繁殖植物发现的结果相同,根茎繁殖植物的根状茎有储存营养的能力,其长度与营养的储存量成正比,而且对前期的萌发率和存活率有显著影响。其次,根状茎长度的增加也会繁殖节点的数量,在根状茎上的每个节点中都有一个被鳞片包裹的完整幼芽,幼芽有着与母株相同的基因型且每一个都拥有发育成独立植株的潜能,繁殖节点越多,出苗率就越高^[35]。

本试验还发现,随着切段长度增加株高也在增长,这是因为在前期出苗阶段,植物生长的主要营养

来自根茎储存,因此,较长的根茎更适合作为繁殖体。综合以上结果表明,使用根状茎作为繁殖体扩繁种植,比低发芽率的种子繁殖周期更短、成苗更快、生长所需的营养更多、子代基因型更加稳定,可以保证优良性状的延续和更低的后代死亡率^[36]。

4 结论

覆草厚度为0时,生长指标除株高外都显著高于3 cm和1 cm处理,切段长度和种植深度均对成苗率和株高有显著影响($P < 0.05$)。其中成苗率受切段长度影响显著,地上生物量受覆草厚度影响极显著。在祁连山东段高山草甸矩镰芨芨草根状茎种植试验中20 cm切段长度、10 cm种植深度和0 cm覆草厚度是最佳处理组合。

参考文献:

- [1] 王赞文,南志标,王彦荣,等. 高山草原条件下一年生豆科牧草生产性能的评价[J]. 草业学报, 2001, 10(2): 47-55.
- [2] 田浩琦,汪辉,陈有军,等. 高寒地区15份草地早熟禾属野生牧草种质材料评价[J]. 草原与草坪, 2021, 41(2): 92-99.
- [3] 刘华. 对高寒地区牧草栽培试验的分析与研究[J]. 种子科技, 2017, 35(11): 99+103.
- [4] 贾笃敬. 浅谈高寒地区苜蓿品种的选育[J]. 草业科学, 1989(3): 45-4.
- [5] 肖红,徐长林,张德罡,等. 模拟践踏和降水对高寒草甸阴山扁蓿豆有性繁殖特征的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(7): 1976-1982.
- [6] 贾笃敬,张映生,张自和,等. 高寒地区优良豆科牧草阴山扁蓿豆一些性状的研究[J]. 甘肃农学报, 1984(1): 63-69.
- [7] 董小刚,赵成章,张起鹏,等. 石羊河上游干旱草原阴山扁蓿豆群落土壤种子库[J]. 水土保持通报, 2009, 29(6): 41-45+63.
- [8] 王俊杰,杨慧,云锦凤,等. 黄花苜蓿无性繁殖特性的初步研究[C]//中国畜牧业协会、中国草学会. 第三届中国苜蓿发展大会论文集[C]. 中国畜牧业协会、中国草学会: 中国畜牧业协会, 2010: 6.
- [9] 王文涛,杨志敏,王运涛,等. 紫花苜蓿扦插繁殖技术要点[J]. 现代农村科技, 2013(17): 14.
- [10] 赵云,张鹤山,张德罡. 鼯鼠破坏对天祝高寒草地土壤营养的影响[J]. 草原与草坪, 2009, 22(5): 17-19+22.
- [11] 李文. 围封对祁连山东段高寒灌草交错系统碳交换的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [12] 中国农业百科全书总委员会. 中国农业百科全书: 观赏园艺卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [13] 陈伯扬. TOPSIS法在土壤环境质量评价中的应用[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 1003-1009.
- [14] Irfan Deli. Bonferroni mean operators of generalized trapezoidal hesitant fuzzy numbers and their application to decision-making problems [J]. Soft Computing, 2021(1): 1-25.
- [15] 乌力吉. 放牧对内蒙古典型草原生态系统磷平衡的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [16] 沈月. 水和氮及凋落物添加对羊草草地的影响机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [17] 王冬,杨政,郝红敏,等. 黄土区退耕草地凋落物-土壤界面水分过程特征研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 80-84.
- [18] 张素彦. 凋落物的去除和添加对典型草原生态系统碳通量的影响[D]. 南昌: 江西师范大学, 2016.
- [19] 高志红,张万里,张庆费. 森林凋落物生态功能研究概况及展望[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(6): 79-80+83.
- [20] 温明章,于丹,郭继勋. 凋落物层对东北羊草草原微环境的影响[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(5): 395-400.
- [21] 杨霞,曹文侠. 地膜覆盖对高寒人工草地生长特性的影响[J]. 当代畜牧, 2018(5): 57-59.
- [22] 黄玉杰,唐明明,刘道纯. 覆草和浇水量对桃树幼苗生长及土壤温湿度的影响[J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 184-190.
- [23] 雷斯越,赵文慧,杨亚辉,等. 不同坡位植被生长状况与土壤养分空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 86-91+105.
- [24] 佟旭泽. 蒙古高原草原群落沿干燥度梯度土壤异质性及其与植被的相关性[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [25] 张苗苗. 青海省主要草地土壤理化性质和可溶性有机质光谱特性及其对利用方式的响应[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [26] 余春霞. 杉木林套种红豆杉对森林土壤特征及酶活性的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [27] Zheng Yuanrun. Effects of burial in sand and water supply regime on seedling emergence of six species [J]. Annals of botany, 2005, 95(7): 1237-45.
- [28] LI Xiaoyu, LIN Jixiang, YANG Qun, et al. Effect of

- Planting Condition and Time on Survival Rate and Growth of *Phragmites australis*[J]. 湿地科学, 2015, 13(1):13–18.
- [29] 申紫雁,刘昌义,胡夏嵩,等. 黄河源区高寒草地不同深度土壤理化性质与抗剪强度关系研究[J]. 干旱区研究: 2021, 38(2):392–401.
- [30] 李毅. 东祁连山高寒地区柳灌丛群落及其优势种群结构与动态的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2002.
- [31] 于飞海. 克隆植物对异质性环境的生态适应对策[D]. 北京:中国科学院研究生院(植物研究所),2002.
- [32] 李英年,薛晓娟,王建雷,等. 典型高寒植物生长繁殖特征对模拟气候变化的短期响应[J]. 生态学杂志,2010, 29(4):624–629.
- [33] 董鸣. 异质性生境中的植物克隆生长:风险分摊[J]. 植物生态学报,1966,20(6):543–458.
- [34] 汤俊兵,肖燕,安树青. 根茎克隆植物生态学研究进展[J]. 生态学报,2010,30(11):3028–3036.
- [35] 杨群. 芦苇根茎不同移栽条件对其成苗和生长影响的研究[D]. 长春:东北师范大学,2012.
- [36] 杨庆春. 栓皮栎嫩枝扦插关键技术及生根机理研究[D]. 北京:北京林业大学,2017.

Effects of cutting length, planting depth and mulching thickness on rhizome bud sprouting and shoot development of *Medicago archiducis-nicolai*

WEI Jia-ke, YANG Xiao-xia, FANG Qiang-en

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino- U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To investigate the factors affecting the asexual propagation of *Medicago archiducis-nicolai* rhizome segments, Alpine meadows with natural distribution of *Medicago archiducis-nicolai* in the eastern part of Qilian Mountains was taken as the experimental site. Two cutting lengths of 20 cm and 10 cm, two planting depths of 10cm and 5 cm, and three mulching thicknesses of 3cm, 1cm and 0 cm were set in the experiment. Rhizome seedling rate, leaf age and plant height growth indexes were measured. The results showed that: 1) Mulching thickness had significant effects on leaf age, underground biomass per plant and seedling formation rate, which were mainly represented as 0cm mulching > 3 cm coverage > 1 cm coverage and that the underground biomass per plant and seedling formation rate were the highest under 1cm and 0cm mulching; 2) Segment length and planting depth had significant effects on seedling growth rate, and the seedling growth rate was the highest under 20 cm segment length and 5 cm planting depth; 3) The results of multi-factor ANOVA showed that only the interaction of mulch thickness × planting depth had a significant effect on rhizosphere propagation, but only significant affected the aboveground biomass per plant. Under the interaction of 10 cm planting depth and 0 cm mulch thickness, the aboveground biomass per plant was the largest; 4) The comprehensive evaluation and analysis of TOPSIS model showed that the combination of 20 cm segment length, 10 cm planting depth and 0 cm grass covering was the best cultivation condition for asexually propagating alfalfa rhizome in this experiment.

Key words: *Medicago archiducis-nicolai*; rhizome; vegetative propagation; growth target