

混播比例及播种方式对老芒麦与紫花苜蓿混播系统生产力及种间关系的影响

李明, 祁娟, 杨航, 宿敬龙, 吴召林, 金鑫

(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研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以不同播种比例(2:1、5:2、3:1、7:2和4:1,分别用1,2,3,4,5表示)及播种方式(间行和同行,以A、B表示)下的老芒麦(*Elymus sibiricus*)和根茎型清水紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Qingshui)混播系统为研究对象,对建植第2年混播草地草产量、相对密度(RD)、相对产量(RY)、相对产量总值(RYT)及竞争率(CR)进行研究,通过灰色关联度分析揭示混播比例及播种方式对种间关系的影响,进而确定黄土高原区老芒麦和紫花苜蓿混播的最适混播比例及播种方式。结果表明:混播草地的年草产量在豆禾比1:2同行混播组合下最高。RYT无论第1茬还是第2茬均以A3组合最高且RYT>1,混播的两种牧草在一定程度上避免了竞争,存在生态位分离。灰色关联度分析得豆禾比1:2同行混播下紫花苜蓿的综合种群优势较好;豆禾比1:4间行混播下老芒麦综合种群优势较好。在黄土高原区紫花苜蓿和老芒麦1:2同行混播较适宜。

关键词:紫花苜蓿;老芒麦;混播草地;种间关系

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0029-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.004



在豆禾混播草地中,豆科牧草可以固定空气中游离的氮素,从而避免了牧草间部分氮素的竞争,有利于草地群落的稳定性发展^[1-2]。但不同的草种的选择、混播比例及播种方式都对草地生产力和种间关系起着重要的作用^[3-4]。混播有利于高产,不同混播群落地上生物量与天然对照具有显著或极显著的差异,其中披碱草与苜蓿地上植株密度比为3:1(播种量披碱草为25 kg/hm²,苜蓿为13.9 kg/hm²)产量最高。混播群落粗脂肪、总能、消化能含量均高于单播群落。综合分析,披碱草与苜蓿密度比为3:1,为最优化的群落组合^[5]。刘美玲等^[6]研究发现老芒麦—草原2号紫花苜

蓿在混播比例为1:3时牧草产量最高。杨风梅等^[7]研究发现老芒麦—苜蓿在混播比例为1:1时产量最大。李治国等^[8]研究发现,苜蓿与无芒雀麦混播,间行混播的产量较同行混播高,豆禾比1:1优于1:2和2:1,但豆禾比1:2下间行混播效果最好。而锡文林等^[9]则认为混播比例和刈割期是影响紫花苜蓿和无芒雀麦混播草地竞争力的主要因素,紫花苜蓿竞争力优于无芒雀麦,在竞争中处于优势。郑伟等^[10]研究表明,豆禾混播比例及播种方式可以改变豆禾牧草的种间竞争强度,有利于混播牧草间的协调共存。

禾豆混播牧草间合理配置的地上部分和地下部分可更为高效地利用光能,但这种优越性能否在生产实践中持续存在,是豆禾混播草地能否发挥优良生产性能和生态稳定性的基础^[11]。所以在建植混播草地时,适宜的物种搭配是避免激烈竞争和发挥混播优势的必要条件^[12]。本试验通过对混播草地物种比例及空间分布状态的调控,研究不同混播组合下老芒麦苜蓿混播草地的草地生产力和种间关系,以筛选牧草产量达到最大的混播组合,同时丰富老芒麦—苜蓿混播系统

收稿日期:2020-03-26; 修回日期:2021-04-01

基金项目:国家自然科学基金(31660684);国家牧草产业技术体系(CARS-34);青海省科技厅重点实验室发展专项(2020-ZJ-Y03)

作者简介:李明(1996-),男,甘肃武威人,硕士研究生。

E-mail:2194055687@qq.com

祁娟为通信作者。E-mail:qijuan@gsau.edu.cn

共存机制的研究,为黄土高原区老芒麦—苜蓿混播草地可持续生产模式提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地位于甘肃省兰州市安宁区甘肃农业大学牧

表 1 试验地土壤基本理化指标

Table 1 The soil physiochemical properties

pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
8.23	11.24	0.65	93.54	13.11	110.2

1.2 供试材料

供试材料为清水紫花苜蓿 (*Medicago sativa* cv. Qingshui) 和老芒麦 (*Elymus sibiricus*)。

1.3 试验设计与田间管理

因大量的老芒麦与苜蓿混播试验中豆禾比均为 1:0、1:1、1:2、1:3、2:1 和 0:1,最后结论大多为在豆禾比 1:3 时产量最高^[6],在豆禾比 1:2 时稳定性最强^[13],比例设置宽泛且在豆禾比 1:3 以上的比例少有研究,所以本试验设计单播和混播处理,其中混播以豆

草实训基地。该地位于黄土高原西端,属温带半干旱大陆性气候,年平均气温 9.1℃,海拔 1 595 m,年均降水量 451.6 mm,年均蒸发量 1 664 mm,无霜期 180 d。土壤类型微黄绵土,地势平坦,肥力均匀,有灌溉条件。试验基地基本理化指标见表 1。

禾比 1:2、2:5、1:3、2:7 和 1:4 按同行和间行进行混播处理(豆禾比 1:2、2:5、1:3、2:7 和 1:4,分别用 1,2,3,4,5 表示;间行混播和同行混播,以 A、B 表示)(表 2)。小区面积为 10 m²,行距 30 cm,区距 50 cm,3 次重复,完全随机区组排列,区组为播种方式、播种比例随机排列,共 12 个处理,36 个小区。紫花苜蓿播量为 15 kg/hm²,老芒麦播量为 30 kg/hm²^[13]。2019 年 8 月中旬播种,播种当年不刈割,自然状态越冬。定期灌溉与人工除杂。

表 2 紫花苜蓿与老芒麦混播组合处理

Table 1 Design of mixed sowing of alfalfa and *E. sibiricus*

编号	清水紫花苜蓿			老芒麦		
	播量/ (kg · hm ⁻²)	播量比/%	行数	播量/ (kg · hm ⁻²)	播量比/%	行数
CK1	15.00	100	10	—	—	0
CK2	—	—	0	30.00	100	10
A1	3.96	33	3	16.08	67	7
A2	3.48	29	3	17.04	71	7
A3	3.00	25	2	18.00	75	8
A4	2.64	22	2	18.72	78	8
A5	2.40	20	2	19.20	80	8
B1	3.96	33	10	16.08	67	10
B2	3.48	29	10	17.04	71	10
B3	3.00	25	10	18.00	75	10
B4	2.64	22	10	18.72	78	10
B5	2.40	20	10	19.20	80	10

1.4 测定指标与方法

1.4.1 草产量 第 1 茬草和第 2 茬草分别在紫花苜蓿盛花期(六月中旬)和(八月中旬)测定。禾本科和豆科分种取样测定,再取 200~500 g 鲜样带回实验室烘干称干重,单位面积干草产量根据干鲜比和测产面积换算获得。

1.4.2 相对密度(RD)

$$RD_g = D_{g1} / (P \times Y_g), RD_l = D_{l1} / (q \times D_l) \quad (1)$$

式中:RD_g为禾本科牧草相对密度;RD_l为豆科牧草相对密度;D_{g1}为在混播条件下禾本科牧草的分蘖数;D_g为单播条件下禾本科牧草的分蘖数;p为禾本科牧草在混播地中的播种比例。D_{l1}为混播条件下豆科

牧草的分枝数; D_1 为单播条件下豆科牧草的分枝数; q 为豆科牧草在混播地中的播种比例。 $RD_g = 1$ 表明种内竞争和与豆科牧草的种间竞争对禾草种群数量影响相似; $RD_g > 1$ 表明禾草在与豆科牧草混播时扩大了自己的种群; $RD_g < 1$, 表明豆科牧草的存在限制了禾草种群数量的扩展; RD_1 值含义同 RD_g [14]。

1.4.3 相对产量 (RY)

$$RY_g = T_{g1} / (P * Y_g), RY_1 = Y_{1g} / (q * Y_1) [15] \quad (2)$$

式中: RY_g 为禾本科牧草相对产量; RY_1 为豆科牧草相对产量; Y_{g1} 为在混播条件下禾本科牧草的单位面积产量; Y_g 为单播条件下禾本科牧草的单位面积产量; p 为禾本科牧草在混播地中的播种比例。 Y_{1g} 为混播条件下豆科牧草的单位面积产量; Y_1 为单播条件下豆科牧草的单位面积产量; q 为豆科牧草在混播地中的播种比例。 RY 值表明不同物种所经历竞争的类型, 通常把单种种群的 RY 值定位 1.0, 当 $RY < 1.0$ 时, 表示种间竞争大于种内竞争; 当 $RY > 1.0$ 时, 种内竞争大于种间竞争; 而当 $RY = 1.0$ 时, 表示种内和种间竞争水平相当。

1.4.4 相对产量总值 (RYT)

$$RYT = p * RY_g + q * RY_1 [15] \quad (3)$$

式中: p 、 q 、 RY_g 和 RY_1 与式 (2) 中相同。当 $RYT = 1$, 表明 2 物种竞争相同的资源; 当 $RYT > 1$ 表明 2 物种在一定程度上避免了部分竞争, 发生了某种生态位分离; 当 $RYT < 1$ 时, 表明 2 物种间存在激烈的资源竞争。

1.4.5 竞争率 (CR)

$$DR_g = [(Y_{g1} / (p * Y_g)) / [Y_{1g} / (q * Y_1)] [15],$$

$$CR_1 = [Y_{1g} / (q * Y_1)] / [Y_{g1} / (p * Y_g)] \quad (4)$$

式中: CR_g 表示禾本科牧草竞争率; CR_1 表示豆科牧草竞争率。 Y_{g1} 、 Y_g 、 p 、 Y_{1g} 、 Y_1 和 q 与式 (2) 中相同。当 $CR_A > 1$ 时, 表示物种 A 的竞争能力要大于物种 B 的竞争能力; 当 $CR_A = 1$ 时, 表示物种 A 和 B 竞争能力相等; 当 $CR_A < 1$ 时, 表示物种 A 的竞争能力小于物种 B 的竞争能力。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理和绘图, 用 SPSS 对数据进行差异显著性分析, 采用 Dun can 多重比较。数据的灰色系统理论的计算方法 [16]

(1) 数据的无量纲化处理

由于各个性状值的量纲不一致, 所以首先应该用初值法对其原始数据进行无量纲化处理, 公式为 X_i'

$(k) = X_i(k) / X_0(k)$, 式中: $X_i(k)$ 为参试品种 i 第 k 个指标数值, $X_0(k)$ 为标准牧草第 k 个指标数值。

(2) 计算各点绝对值:

$$\Delta i(k) = |X_0(k) - X_i(k)| \quad (i=1, 2, 3, k=1, 2, 3, 10).$$

其中 $\Delta i(k)$ 为第 i 个材料在 k 个性状上的绝对差。

(3) 关联系数的计算:

$$\text{公式为: } \zeta(k) = \frac{a + \rho b}{\Delta i(k) + \rho b}, \quad (5)$$

其中 $a = \min |X_0(k) - X_i(k)|$; $b = \max |X_0(k) - X_i(k)|$; ρ 为分辨系数, 在 $[0, 1]$ 取值, 一般取值为 0.5。

(4) 计算等权关联度值

利用关联系数 $\zeta_i(k)$, 由公式 $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k)$ 每个品种各指标的等权关联度值。

(5) 计算加权关联度值 [17]

等权关联度只有在各性状同等重要的情况下, 才能用于评价不同品种的优劣。然而, 荞麦各农艺性状的重要性不相同, 为了客观地评价各品种的优劣, 需赋予各性状不同的权重系数 ω_i , 计算各品种的加权关联度 r'_i 。

$$\text{权重系数: } \omega_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$$

$$\text{加权关联度值: } r'_i = \sum_{k=1}^n \omega_i(k) \zeta_i(k) \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 不同混播比例及播种方式对紫花苜蓿种群的影响

2.1.1 混播比例与混播方式对紫花苜蓿相对密度 (RD) 的影响 第 1 茬, 各处理 RD_1 均大于 1 ($P < 0.05$) (图 1)。 RD_1 在 B1 组合下最高, A5 组合下最低。并且在间行混播处理下 RD_1 随着老芒麦播种比例的增大而降低, 在同行混播处理下 RD_1 随着老芒麦播种比例的增大而减小 (图 1)。

第 2 茬, RD_1 在 B1 组合下最高; A5 组合下最低。在间行混播处理下 RD_1 随着老芒麦播种比例的增大而减小, 在同行混播处理下 RD_1 随着老芒麦播种比例的增大而减小 (图 1)。

第 1 茬与第 2 茬相比, 紫花苜蓿的相对密度在第 2 茬时有明显降低。

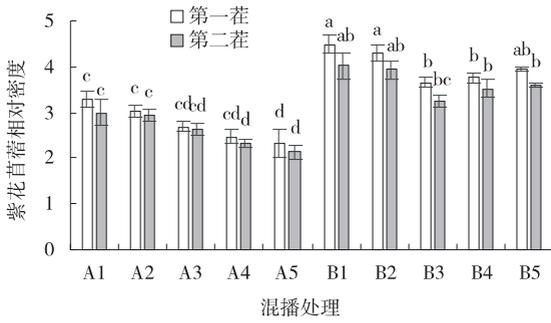


图1 混播比例与混播方式处理下紫花苜蓿种群相对密度

Fig. 1 Effects of mixed-planting ratio and mixed-planting method on relative density of alfalfa population

注:每列中字母相同者表示差异未达显著水平($P < 0.05$),字母不同者表示差异达显著水平($P < 0.05$)。下同

2.1.2 混播比例与混播方式对紫花苜蓿相对产量(RY)的影响 第1茬时, RY_1 均大于1($P < 0.05$) (图2)。且 RY_1 在B3组合最高,A4组合最低。并且 RY_1 随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势,在同行混播处理下 RY_1 明显大于间行混播处理($P < 0.05$)。

在第2茬时, RY_1 在B3组合最高;A4组合最低且小于1。在间行混播(A)处理下 RY_1 无明显差异,在同行混播处理下 RY_1 随着老芒麦播种比例的增大而减小(图2)。

第1茬与第2茬相比,紫花苜蓿的相对产量在第2茬时较第1茬降低(除B1组合外)且部分组合的降低幅度较大。

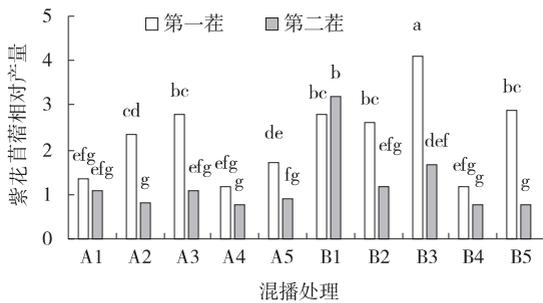


图2 混播比例与混播方式处理下紫花苜蓿种群的相对产量

Fig. 2 Effect of mixed sowing ratio and mixed sowing method on the relative yield of alfalfa population

2.1.3 混播比例与混播方式对紫花苜蓿种间竞争率(CR)的影响 在第1茬时, CR_1 在B2组合最高,A4组合最低。并且在相同的混播比例下同行混播B处理的 CR_1 均高于间行混播A处理(图3)。

在第2茬时, CR_1 在B1组合最高,A4组合最低。并且在相同的混播比例下,同行混播B处理的 CR_1 高

于间行混播A处理(除A5,B5外)。

第2茬与第1茬相比, CR_1 在第2茬时明显低于第1茬($P < 0.05$)。

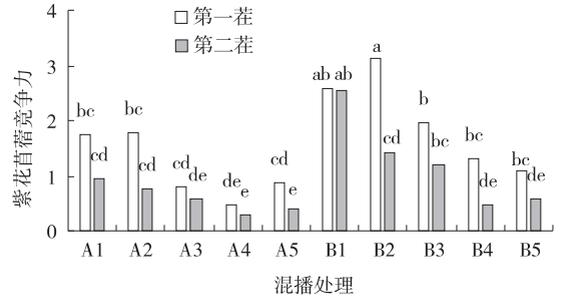


图3 混播比例与混播方式处理下紫花苜蓿的种间竞争率

Fig. 3 Effect of mixing proportion and mixing method on the competition ratio of alfalfa population

2.1.4 紫花苜蓿的灰色关联度综合分析 紫花苜蓿综合种群优势较好的是B1处理,其次为A2处理;B3、B4处理下的加权关联度最小,苜蓿在该处理下无明显优势(表3)。各个性状的关联度大小顺序为 $X1 > X2 > X3$,即紫花苜蓿相对密度>紫花苜蓿相对产量>紫花苜蓿竞争力。

表3 紫花苜蓿各竞争指标的关联系数及关联度值

Table 3 Correlation coefficient and correlation degree of various competition indexes of alfalfa

处理	X1	X2	X3	r'	排序
A1	0.930 8	0.559 6	0.479 8	0.665 5	3
A2	0.478 4	0.850 1	1.000 1	0.765 5	2
A3	0.437 2	0.838 9	0.698 7	0.654 9	5
A4	0.738 1	0.455 4	0.393 5	0.535 7	8
A5	0.641 2	0.615 3	0.534 6	0.599 7	6
B1	0.824 9	0.879 7	0.731 4	0.815 0	1
B2	1.000 0	0.345 1	0.334 2	0.571 7	7
B3	0.589 1	0.368 1	0.400 0	0.455 5	10
B4	0.474 6	0.461 8	0.579 6	0.502 4	9
B5	0.425 6	1.000 1	0.555 5	0.662 1	4
ω_i	0.351 2	0.342 3	0.306 5		
排序	1	2	3		

注:X1:紫花苜蓿相对密度;X2:紫花苜蓿相对产量;X3:紫花苜蓿竞争力

2.2 混播比例与混播方式对老芒麦种群的影响

2.2.1 混播比例与混播方式对老芒麦相对密度的影响 第1茬,各处理 RD_g 均大于1($P < 0.05$)。 RD_g 在A5组合下最高,B1组合下最低,并且 RD_g 均随着老芒麦播种比例的增大而增大,且间行混播处理下的 RD_g 大于同行混播处理(图4)。

第 2 茬, RD_g 在 A4 组合下最高, B1 组合下最低。并且 RD_g 均随着老芒麦播种比例的增大而增大(图 4), 且间行混播处理下的 RD_g 大于同行混播处理。

第 1 茬与第 2 茬相比, RD_g 在第 2 茬时有明显降低。

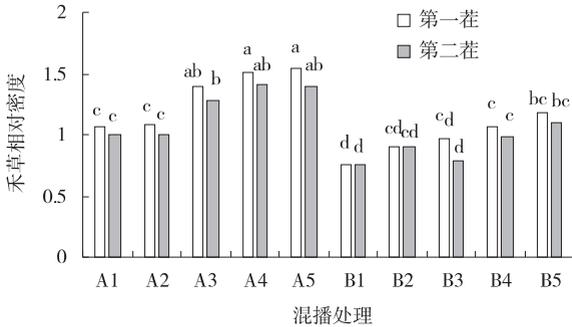


图 4 混播比例与混播方式处理下老芒麦种群的相对密度

Fig. 4 Effects of mixed-planting ratio and mixed-planting method on the relative density of *Elymus sibiricu* population

2.2.2 混播比例与混播方式对老芒麦相对产量的影响 第 1 茬, RY_g 在 A4 组合下最高, B4 组合下最低且小于 1, 在间行混播处理下 RY_g 随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势, 在同行混播处理下 RY_g 无明显差异 ($P < 0.05$) (图 5)。

第 2 茬, RY_g 在 A3 组合下最高, A2 组合下最低且小于 1, 在间行混播处理下 RY_g 随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势, 在同行混播处理下 RY_g 无明显差异 ($P < 0.05$) (图 5)。

RY_g 在第 1 茬是明显小于第 2 茬。

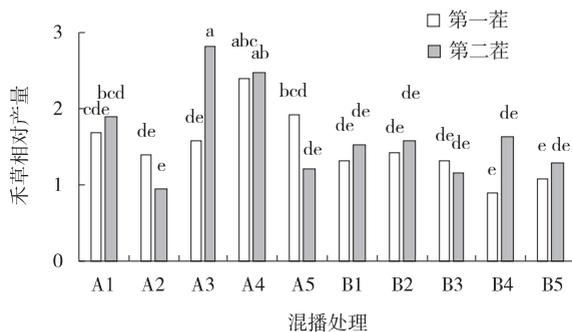


图 5 混播比例与混播方式处理下老芒麦种群的相对产量

Fig. 5 Effect of mixed sowing ratio and mixed sowing method on the relative yield of *Elymus sibiricu* population

2.2.3 混播比例与混播方式对老芒麦种间竞争率的影响 第 1 茬, CR_g 在 A5 组合最高, B3 组合最低。在间行混播处理下 CR_g 随着老芒麦播种比例的增大而增大, 在同行混播处理下 CR_g 无明显差异 ($P < 0.05$) 在

相同比例下间行混播处理的 CR_g 均大于同行混播处理(图 6)。

第 2 茬, CR_g 在 A5 组合下有最大值, 在 B1 组合下有最小值。并且 CR_g 均随着老芒麦播种比例的增大而增大(图 4), 且间行混播处理下的 CR_g 大于同行混播处理。

第 2 茬与第 1 茬相比, CR_g 在第 2 茬时较第 1 茬有明显的提高。

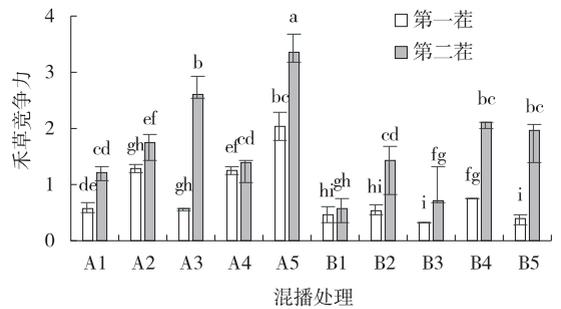


图 6 混播比例与混播方式处理下老芒麦种间竞争率

Fig. 6 Effect of mixing proportion and mixing method on the competition ratio of *Elymus sibiricu* population

2.2.4 老芒麦的灰色关联度综合分析 老芒麦综合种群优势较好的是 A5 处理, 其次为 A1 处理; B3、A4 处理下的加权关联度最小, 老芒麦在该处理下无明显优势(表 4)。各个性状的关联度大小顺序为 $X3 > X1 > X2$, 即老芒麦竞争力 $>$ 老芒麦相对产量 $>$ 老芒麦相对密度。

表 4 老芒麦各竞争指标的关联系数及关联度值

Table 4 Correlation coefficient and correlation degree value of various competitive indexes of *Elymus sibiricu*

处理	X1	X2	X3	r'	排序
A1	0.869 7	0.681 6	0.777 2	0.777 0	2
A2	0.905 4	0.530 4	0.704 2	0.714 6	4
A3	0.533 0	0.422 4	0.735 2	0.570 8	7
A4	0.852 9	0.343 3	0.354 0	0.512 4	10
A5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1
B1	0.416 9	0.749 3	0.521 6	0.559 6	8
B2	0.567 3	0.880 4	0.768 3	0.738 5	3
B3	0.524 1	0.581 4	0.516 6	0.539 5	9
B4	0.411 5	0.590 8	0.862 9	0.630 5	6
B5	0.403 9	0.536 8	0.947 4	0.641 4	5
ω_i	0.324 4	0.316 0	0.359 6		
排序	2	3	1		

注: X1: 老芒麦相对密度; X2: 老芒麦相对产量; X3: 老芒麦竞争力

2.4 混播比例与混播方式对混播系统干草产量的影响

第1次刈割,混播比例与混播方式对混播系统的干草产量有显著的影响,其中以B3组合的干草产量最高为4 771.36 kg/hm²,较单播紫花苜蓿(CK1)提高了43.8%,较单播老芒麦(CK2)提高了249.1%;单播老芒麦(CK2)的草产量最低,其次为A4组合的干草产量为1 821.43 kg/hm²,而且随着老芒麦混播比例的增大产草量呈现先增大后降低的趋势(表5)。

第2次刈割,各处理的草产量较第1次刈割有显著提高,其中以B1组合的草产量最高为7 292.73 kg/hm²,较单播紫花苜蓿(CK1)提高了23.1%,较单

播老芒麦(CK2)提高了322.1%;单播老芒麦(CK2)的草产量最低,其次为A4组合的干草产量,为2 684.57 kg/hm²,且较单播老芒麦(CK2)提高了55.4%。随着老芒麦混播比例的增大干草产量随之降低。

年草产量则在B1处理下达最大值11 571.70 kg/hm²,相较于单播紫花苜蓿产量提高了25.2%,相较于单播老芒麦产量提高了274.0%;在A4处理下干草产量最低为5 015.75 kg/hm²,相较于单播老芒麦产量提高了62.1%。综合来看,年干草产量随之老芒麦混播比例的增加而降低,且同行混播处理较间行混播处理的年干草产量高。

表5 混播比例与混播方式下混播系统干草产量

Table 5 Effects of mixture proportion and mixture mode on hay yield in mixture

处理	草产量/(kg·hm ⁻²)		
	第1茬	第2茬	年产量
CK1	3 318.25±164.27 ^{bc}	5 923.02±573.91 ^b	9 241.27±738.18 ^b
CK2	1 366.67±51.96 ^d	1 727.57±19.18 ^h	3 094.24±32.78 ⁱ
A1	3 929.38±88.41 ^{abc}	5 251.88±506.31 ^{bc}	9 181.26±594.71 ^{bc}
A2	3 420.26±533.09 ^{bc}	4 294.44±60.28 ^{cde}	7 714.71±472.81 ^{cde}
A3	3 029.52±358.14 ^c	4 320.23±295.04 ^{cde}	7 349.75±179.87 ^{def}
A4	1 821.43±21.44 ^d	3 194.33±87.91 ^{efg}	5 015.76±108.64 ^h
A5	3 085.36±268.89 ^c	2 684.57±273.33 ^{gh}	5 769.93±543.22 ^{gh}
B1	4 278.97±206.20 ^{ab}	7 292.73±482.62 ^a	11 571.70±688.81 ^a
B2	3 862.04±62.55 ^{abc}	4 787.90±513.95 ^{bcd}	8 649.94±451.40 ^{bcd}
B3	4 771.36±462.00 ^a	3 963.56±778.54 ^{def}	8 734.92±316.54 ^{bcd}
B4	3 586.46±269.01 ^{bc}	3 145.80±2.55 ^{efg}	6 732.25±283.36 ^{efg}
B5	3 227.72±492.43 ^c	2 757.35±75.87 ^{fgh}	5 985.08±568.30 ^{fgh}

2.4 混播比例与混播方式对混播系统相对产量总值(RYT)的影响

在第1茬时,RYT在A4组合最高,B4组合最低且小于1。并且在间行混播(A)处理下RYT随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势,在同行混播处理下RYT随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势(图7)

第2茬时,RYT均大于1($P<0.05$),且在A3组合最高,A2组合最低。并且在间行混播(A)处理下RYT随着老芒麦播种比例的增大而呈现先增大后减小的变化趋势,在同行混播处理下RYT随着老芒麦播种比例的增大而减小(图7)。

第2茬时的相对产量总值在A2、A5和B3组合下较第1茬时有明显降低,在A4、B2和B5组合下降低幅度不明显;在其余组合下则是第2茬的相对产量总

值高于第1茬的相对产量总值。

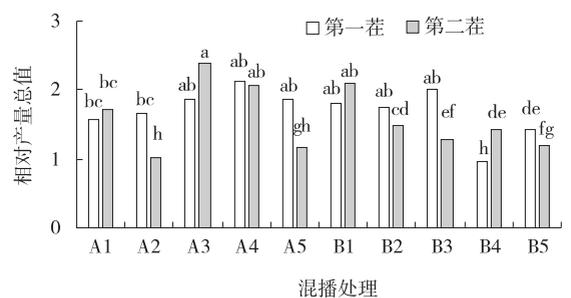


图7 不同混播比例与混播方式下混播系统的相对产量总值
Fig. 7 Effect of mixed sowing ratio and mixed sowing method on the total relative yield of mixed sowing system population

3 讨论

3.1 混播比例与混播方式对混播系统干草产量的影响

混播增产原因在于不同类型牧草混播,地上部分

及地下部分在空间上具有合理的配置比例,能充分利用水、肥、光等资源,可制造更多的有机物,使之转为更多的草产品,所以在多数情况下,混播牧草的产量高而稳定^[18]。朱树秀等^[19]研究表明苜蓿与老芒麦在豆禾比 5:5 同行混播处理下 3 内的草产量均显著($P < 0.05$)高于其他混播处理和单播苜蓿而极显著($P < 0.01$)高于单播老芒麦。李治国等^[20]研究认为苜蓿和无芒雀麦混播下各处理的产量在第 1 年均低于单播苜蓿而高于单播无芒雀麦,而在第 2 年个混播处理的草产量又显著高于单播苜蓿与单播无芒雀麦。杨凤梅等^[21]研究表明苜蓿与老芒麦混播在豆禾比为 1:1 的混播处理下草产量不论是第一年还是第二年均高于单播苜蓿、单播老芒麦和其他混播处理。白音仓等^[22]研究表明紫花苜蓿与老芒麦混播在豆禾比 1:2 间行播种时草产量最大。而本研究结果表明所有混播处理的草产量均显著($P < 0.05$)高于单播老芒麦的草产量,其中豆禾比 1:2 同行混播处理下的草产量显著高于单播苜蓿、单播老芒麦和其余各混播处理,而除此组合外的各混播组合草产量则都低于单播苜蓿,其中各混播处理的草产量高于单播老芒麦草产量的结果与众多试验结果相吻合,但混播处理产量能否高于单播苜蓿产量则与许多结论不同。

3.2 混播比例与混播方式对混播系统种间关系的影响

混播草地是否能投入生产取决于混播群落各种种群间竞争的走向,而竞争的走向又受种群数量、物种组成、优势种和生产力等因素的影响^[23]。刘兰芳等^[24]研究表明苜蓿与无芒雀麦混播时,第一年无芒雀麦比例较大,苜蓿比例较小,而后无芒雀麦的比例则逐年下降,苜蓿则逐年升高。白音仓等^[22]研究表明在苜蓿和老芒麦混播中混播比例的变化对于群落变化的影响要大于播种方式的变化。张永亮等^[25]研究则表明苜蓿在分别与无芒雀麦、垂穗披碱草和藜草混播时,只有苜蓿—藜草组合的混播群落趋于稳定,其余两种组合则是苜蓿对禾草的种间竞争强度逐渐加剧,此外在对混播比例的研究中发现初始混播比例对种间竞争力的影响会有所减弱。本研究表明,在所有混播组合中的 RD_g 在两次刈割时都大于 1,且第 2 茬时的 RD_g 普遍高

于第 1 茬时的 RD_g ,这说明老芒麦在与苜蓿混播后老芒麦的种群数量有所提升,这种提升在第 2 茬时更加的明显;而 RD_l 则在第 2 茬时较第 1 茬有明显降低,且在 B5 组合下小于 1,这说明苜蓿在与老芒麦混播后其自身的种群数量也有所提升,但这种提升在第 2 茬时变得不明显,在 B5 组合种群数量甚至有所下降。本研究中,B4 组合在第 1 茬时 RYT 小于 1,其余组合的 RYT 在各时期均大于 1,其中 A3 和 A4 组合显著高于其余组合,且间行混播的 A 处理要普遍高于同行混播的 B 处理,这说明苜蓿与老芒麦的混播草地群落中的两种牧草在环境资源中处于不同生态位,可以利用不同的生态资源达到互惠共生的良好效果,其中以豆禾比 1:3 的间行混播草地的种间关系最为融洽。此外在本研究中,第 1 茬时,苜蓿的种间竞争率 CR_l 在同行混播处理下要远大于间行混播处理,而老芒麦的种间竞争率 CR_g 则相反,在间行混播处理下要远大于同行混播处理。

灰色系统分析可较为真实和全面地反映人们对客观系统的实际认识程度,不但可以给出质的定性解释,同时也可以给出量的确切描述^[26]。灰色关联度分析法综合评价牧草生产性能简单易行,克服了依靠单一性状(如产量)评价品种的弊端,可客观反映供试牧草诸多性状在生产性能上的综合表现,不会因某品种的某一性状表现优而认可该品种或某一性状表现差而否定该品种^[17]。本试验中,苜蓿的各指标在评价系统中所占的权重顺序为:苜蓿相对密度 > 苜蓿相对产量 > 苜蓿竞争力,且在豆禾比 1:2 同行混播下苜蓿综合种群优势较好;老芒麦的各指标在评价系统中所占的权重顺序为:老芒麦竞争力 > 老芒麦相对密度 > 老芒麦相对产量,且在豆禾比 1:4 间行混播下老芒麦综合种群优势较好。

4 结论

黄土高原区清水紫花苜蓿和老芒麦的混播草地在豆禾比 1:2 同行混播下干草产量最高。豆禾比 1:2 同行混播下紫花苜蓿的综合种群优势较好;豆禾比 1:4 间行混播下老芒麦综合种群优势较好。豆禾比 1:2 同行混播为黄土高原区老芒麦—紫花苜蓿混播草地的较优混播方式。

参考文献:

- [1] 王平. 半干旱地区禾-豆混播草地生产力及种间关系研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- [2] 朱树秀, 石玉瑚. 单播和混播系统中禾本科牧草氮来源和苜蓿固氮的研究[J]. 核农学报, 1992, 6(2): 99-104.
- [3] 刘敏, 龚吉蕊, 王忆慧, 等. 豆禾混播建植人工草地对牧草产量和草质的影响[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 179-185.
- [4] 苟文龙, 李平, 肖冰雪, 等. 禾豆牧草混播增产增效研究进展[J]. 草学, 2020(3): 16-23.
- [5] 蒋慧. 紫花苜蓿与无芒雀麦混播草地产量、品质和降解率研究及其综合评价[D]. 石河子: 石河子大学, 2007.
- [6] 刘美玲, 宝音陶格涛. 老芒麦与草原 2 号苜蓿混播试验[J]. 中国草地, 2004(1): 23-28.
- [7] 杨凤梅, 程金芝, 殷晓龙, 唐华. 紫花苜蓿单播及其与老芒麦混播的产草量对照试验[J]. 畜牧与饲料科学(奶牛版), 2006(5): 49+54.
- [8] 李治国. 紫花苜蓿~无芒雀麦混播群落稳定性及其产量因子模型建立的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005.
- [9] 锡文林, 张仁平. 混播比例和刘割期对混播草地产草量及种间竞争的影响[J]. 中国草地学报, 2009, 31(4): 36-40.
- [10] 郑伟, 朱进忠, 加娜尔古丽. 不同混播方式豆禾混播草地生产性能的综合评价[J]. 草业学报, 2012, 21(6): 242-251.
- [11] 危庆, 赛吉日呼, 王静, 等. 种植模式对敖汉苜蓿和老芒麦干物质积累及经济效益的影响[J]. 北方农业学报, 2018, 46(5): 122-129.
- [12] 谢开云, 赵云, 李向林, 等. 豆-禾混播草地种间关系研究进展[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 284-296.
- [13] 王建光. 农牧交错区苜蓿-禾草混播模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [14] 郑伟, 朱进忠, 库尔班, 等. 不同混播方式下豆禾混播草地种间竞争动态研究[J]. 草地学报, 2010, 18(4): 568-575.
- [15] 张永亮, 高凯, 于铁峰, 等. 禾草种类与混播比例对苜蓿-禾草混播系统生产力及种间关系的影响[J]. 中国草地学报, 2020, 42(2): 47-57.
- [16] 张小娇. 披碱草属(*Elymus* L.) 野生种质材料生态适应性及其评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [17] 杨墨, 张新全, 李向林, 等. 应用灰色关联度综合评价 17 个不同秋眠级苜蓿的生产性能[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 67-72.
- [18] 刘芬. 水肥组合对苜蓿和老芒麦混播效益的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [19] 朱树秀, 杨志忠. 紫花苜蓿与老芒麦混播优势的研究[J]. 中国农业科学, 1992(6): 63-68.
- [20] 李治国, 建光, 姚贵平. 紫花苜蓿与无芒雀麦混播草地产量因子的主成分分析[J]. 中国草地, 2005(5): 79-81.
- [21] 杨凤梅, 程金芝, 殷晓龙, 等. 紫花苜蓿单播及其与老芒麦混播的产草量对照试验[J]. 畜牧与饲料科学(奶牛版), 2006(5): 49+54.
- [22] 白音仓. 不同播种方式及比例对紫花苜蓿和老芒麦混播草地的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [23] Zand E, Beckie H J. Competitive ability of hybrid and open-pollinated canola (*Brassica napus*) with wild oat (*Avena fatua*) [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2002, 82(2): 473-480.
- [24] 刘兰芳, 杨恒山, 张宏宇, 等. 紫花苜蓿与无芒雀麦混播草地组分及产量变化动态[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2009, 24(4): 403-405.
- [25] 张永亮, 于铁峰, 郝凤. 豆禾混播牧草碳氮磷钾生态化学计量特征对施肥与混播比例的响应[J]. 草地学报, 2020, 28(5): 1386-1394.
- [26] 鲁雪林, 王秀萍, 张国新. 旱稻抗旱性评价指标研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 124-126.

Effect of mixed planting ratio and planting method on the productivity and interspecific relationship of *Elymus sibiricus* and alfalfa in mixed planting system

LI Ming, QI Juan, YANG Hang, SU Jing-long, WU Zhao-lin, JIN Xin

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Gansu Grassland Engineering Laboratory, China-US Center for Grazing land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: This study investigated the effect of mixed planting ratio and planting method on the productivity and interspecific relationship of *Elymus sibiricus* and alfalfa in mixed planting system. The experiments included different planting ratios of *E. sibiricus* and alfalfa (2:1, 5:2, 3:1, 7:2 and 4:1, denoted by 1, 2, 3, 4 and 5) and planting methods (inter line and same line, denoted by A, B). The number of branches/tillers, grass yield, relative density (RD), relative yield of population (RY), relative yield total (RYT) and interspecific competition rate (CR) of mixed grassland in the second year of establishment were measured. The influence of mixed seeding ratio and seeding method on the inter-species relationship was analyzed using gray correlation analysis. Furthermore, the optimal mixed planting ratio and planting method for mixed planting of *E. sibiricus* and alfalfa in the Loess Plateau were determined. The results showed that the annual grass yield of mixed grassland was the highest under treatment B1. For both the first cutting or the second cutting, the RYT was the highest in A3 (RYT > 1). The gray correlation analysis showed that the comprehensive population advantage of alfalfa was better under the alfalfa and *E. sibiricus* ratio of 1:2 than other ratios; the comprehensive population advantage of *E. sibiricus* was better with the *E. sibiricus* and alfalfa ratio of 1:4. The results suggest that the two mixed forages could avoid competition to a certain extent, and there could be niche separation. The results also showed that the competitiveness of alfalfa gradually decreased after the first mowing, and the competitiveness of *E. sibiricus* gradually increased. The optimal treatment was intercropping mixture with the alfalfa to *E. sibiricus* ratio of 1:2 in the inter line.

Key words: alfalfa; *Elymus sibiricus*; mixed seeding grass; interspecific competition