

# 三江源地区一年生禾豆混播人工草地最佳混播比例的综合评价研究

冯廷旭, 德科加\*, 向雪梅, 钱诗祎, 林伟山, 李菲, 魏希杰, 王伟, 张琳

(青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016)

**摘要:**【目的】探究青海省三江源地区建立人工草地混播体系最佳综合评价模式。【方法】采用3种不同综合评价方法筛选适宜在三江源地区建植的禾豆混播组合及比例。【结果】3种评价方法, AHP层次分析法评价方法中最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(70:30), 隶属函数评价方法中最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(60:40), 灰色关联度评价方法中最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(70:30)。【结论】结合试验地区海拔条件等因素, 在高寒地区优先推荐灰色关联度综合评价方法, 燕麦+箭筈豌豆(70:30)混播模式为一年生禾豆混播最佳混播组合及比例。

**关键词:**三江源地区; 禾豆混播; 生产性能; 营养品质; 综合评价

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)02-0135-10

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2024.02.014



栽培草地发展水平的高低已成为一个国家衡量草地畜牧业发展潜力的重要标志<sup>[1]</sup>,我国提出的‘山水林田湖草’综合发展战略将草地发展与保护作为了一项国家重点关注项目<sup>[2-4]</sup>。青海省三江源地区作为我国乃至世界范围内重要的天然草地之一,在养育藏区牧民生产生活、生产优质牲畜产品、维持当地生态环境、调节气候等方面发挥着重要作用<sup>[5-6]</sup>。但因其海拔高、天然草地生长季短(仅在5-9月)、饲草生长环境较为严酷,导致牲畜在冬春两季可采食的牧草严重匮乏<sup>[7]</sup>。任继周先生也指出<sup>[8]</sup>,2008-2012年,我国从各国进口的玉米数量增加104倍,大豆进口量增加2.5倍,苜蓿干草进口量增加22.5倍,说明我国生产的饲料产量与品质还远远不能满足需要。人工草地的建

立,在一定程度上可缓解天然草地饲草匮乏的现状。但三江源地区自然条件对饲草生长有较大限制,适合建植的人工草地种类少,单播的饲草产量及品质也低于低海拔地区,需要寻找一种在高海拔地区改善饲草短缺和营养不足的模式。诸多专家学者通过大量试验研究提出,建立禾本科与豆科饲草混播体系可以有效利用植物群落间的差异性,通过对光照、水分、土壤养分等资源的协同互补作用<sup>[9]</sup>,从而在提高人工草地饲草产量、改善饲草适口性、提升粗蛋白含量、改善土地肥力、提高土地利用年限、减少化肥等氮素添加的施用量等方面有明显成效<sup>[10]</sup>。

目前,适宜在三江源地区建植的一年生禾本科饲草主要有燕麦(*Avena sativa*)、青稞(*Hordeum vulgare*)、小黑麦(*Triticale*)等。豆科饲草主要有豌豆(*Lathyrus splendens*)、箭筈豌豆(*Vicia sativa*)、毛苕子(*V. villosa*)等<sup>[11-13]</sup>。据统计,青海省人工草地建植面积已经从2017年的 $5.14 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>增加到2021年的 $16.0 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,而燕麦在2019年全国种植面积为70.0万hm<sup>2</sup>,年总产量85.0万t,在青海省种植面积在10.0万hm<sup>2</sup>,饲草产量为39.0万t,2021年青海省燕麦种植面积达10.3万hm<sup>2</sup>(青海省饲草料技术推广站,2021年11月)。截止到2016年,我国小黑麦种植面积

收稿日期:2023-01-22;修回日期:2023-03-28

基金项目:青海省科技厅项目:青海三江源草地生态系统国家野外科学观测研究站称多子站建设(K9922050);青海省重点研发与转化计划(2022-NK-114)

作者简介:冯廷旭(1994-),男,甘肃武威人,研究方向为饲草栽培管理。E-mail:1085054116@qq.com

\*通信作者。E-mail:1162157948@qq.com

达23.8万 hm<sup>2</sup>,年产量43万 t<sup>[14]</sup>。迄今为止,科研工作者在研究禾豆混播的主要方向集中在混播种类、混播比例、添加肥料等对饲草产量及品质的影响方面。但饲草产量与品质不应该分割评价,通过查阅大量的文献发现,诸多学者所采用的评价方法各不相同,禾豆混播综合评价的研究报道较少<sup>[15]</sup>。因此本试验以三江源地区建植的单播、生长情况良好的一年生禾本科与豆科饲草为试验对象,设不同混播组合和混播比例,通过测定生产性能与营养品质,利用AHP(层次分析法)评价、隶属函数综合评价、灰色关联度综合评价3种评价方法,选择适宜的三江源地区禾豆混播综合评价方法,为研究人工草地禾豆混播体系的建植提供理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于青海省三江源草地生态系统国家野外科学观测研究站(33°24'30'' N,97°18'00'' E,海拔4 270 m),该地区属典型高原大陆性气候,冬季漫长,气候寒冷,根据气象局资料显示,2019—2021年该地区年平均气温-2.9℃,极端最高气温25℃左右,极端最低气温-30℃,四季不分明,只以0℃上下分为冷热两季,无绝对无霜期,全年霜日数约为260 d,日照时数2 650.5 h,气温会随着海拔升高逐渐降低,年均降水量500.6 mm,降水主要分布在6—9月,约占全年降水的75%。试验小区土壤为高山草甸土,虽腐殖质含量丰富,但因分解不良而土壤肥力不高。土壤pH值6.92,有机质含量2.36%,全氮0.95%,全磷0.82%,

全钾1.35%,无灌溉条件,试验地前茬作物均为小黑麦+饲用豌豆混播。

### 1.2 试验材料

供试燕麦品种为青甜1号(Qingtian No. 1),小黑麦品种为甘农2号(Gannong No. 2),饲用豌豆品种为青建1号(Qingjian No. 1),箭筈豌豆品种为西牧333A(Ximu 333A),均由青海省畜牧兽医科学院草原所提供。

### 1.3 研究内容

试验于2021年5月中旬开始,采取双因素试验设计,分别为4种混播组合与7种混播比例,具体混播处理见表1,每个试验地重复采样3次。研究不同混播组合及混播比例下各处理的生产性能(鲜干草产量、株高、相对产量总和、土地当量比)、饲草品质(NDF、ADF、粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖含量),通过AHP(层次分析法)评价、隶属函数综合评价、灰色关联度综合评价3种评价方法进行综合评定。

播前(5月19日)对试验地进行翻耕耙耱,并采集土壤样品作为对照,播种时施磷酸二铵450 kg/hm<sup>2</sup>,播种方法为同行条播,播深3~4 cm,各小区均人工开沟10行,行距30 cm,饲草生长期间不进行施肥及灌溉,在禾本科拔节期人工除草1次。每个小区禾本科与豆科播量按各单播处理的百分比分别播入<sup>[16]</sup>,分别计算每行禾本科与豆科具体播量进行播种,燕麦+箭筈豌豆80:20混播组合,燕麦播量= $S_1$ (燕麦单播播种量225.01 kg/hm<sup>2</sup>) $\times$ 80%=180.01 kg/hm<sup>2</sup>、箭筈豌豆播量= $S_3$ (箭筈豌豆单播量76.67 kg/hm<sup>2</sup>) $\times$ 20%=15.33 kg/hm<sup>2</sup>(表1)。

表1 试验小区及各处理播种量

Table 1 Test plot and seeding amount of each treatment

处理	混播比例	播量/(kg·hm <sup>-2</sup> )							
		A1		A2		A3		A4	
		燕麦	箭筈豌豆	燕麦	饲用豌豆	小黑麦	箭筈豌豆	小黑麦	饲用豌豆
B1	80:20	180.01	15.33	180.01	15.07	240.01	15.33	240.01	15.07
B2	70:30	157.54	23.00	157.54	22.60	210.01	23.00	210.01	22.60
B3	60:40	135.01	30.67	135.01	30.13	180.01	30.67	180.01	30.13
B4	50:50	112.54	38.34	112.54	37.67	150.01	38.34	150.01	37.67
B5	40:60	90.00	46.00	90.00	45.20	120.01	46.00	120.01	45.20
B6	30:70	67.54	53.67	67.54	52.74	90.00	53.67	90.00	52.74
B7	20:80	45.00	61.34	45.00	60.27	60.00	61.34	60.00	60.27

## 1.4 测定项目及方法

1.4.1 鲜干草产量 2021年9月下旬(禾本科灌浆期)在各小区随机选取3个具有代表性的1 m样段(远离边行),齐地表刈割,称取鲜重,之后将新鲜样品在遮阴条件下自然风干30 d,称取风干重。

1.4.2 饲草株高 2021年9月下旬在每小区随机取禾本科(抽穗期和开花期)、箭筈豌豆与饲用豌豆(初花期和盛花期)各10株,用钢卷尺测量从地面至植株穗尖的自然高度。

1.4.3 营养成分测定 测定完鲜、干草产量后,将饲草茎秆、叶片用粉碎机粉碎后混和均匀,用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,用索氏浸提法测定粗脂肪含量,用范氏纤维法测定酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量,交青海韵驰检测技术有限公司检测<sup>[17-19]</sup>。

1.4.4 相对产量总和(RYT)测定

$$RYT = Y_{ij}/Y_{ii} + Y_{ji}/Y_{jj}$$

式中: $Y_{ij}$ 为与种 $j$ 混播时种 $i$ 的鲜草产量; $Y_{ii}$ 为种 $i$ 单播时的鲜草产量; $Y_{ji}$ 为种 $j$ 同种 $i$ 混播时中 $j$ 的鲜草产量; $Y_{jj}$ 为种 $j$ 单播时的鲜草产量。 $RYT=1$ ,说明在该组分下种间干扰和种内干扰相等; $RYT<1$ ,说明在该组分下种间干扰大于种内干扰; $RYT>1$ ,说明在该组分下种间干扰小于种内干扰。

1.4.5 土地当量比(LER)测定

$$LER = L_o + L_P$$

式中 $L_o$ =混播禾本科的干草/单播禾本科干草产量; $L_P$ =混播豆科干草产量/单播豆科干草产量。当 $LER>1$ ,表明有混播优势;当 $LER<1$ ,无混播优势。

## 1.5 综合评价

1.5.1 AHP(层次分析法) 第1步,建立递阶层次结构模型;第2步,构造判断(成对比较)矩阵;第3步,层次单排序及其一致性检验,具体公式为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

为了衡量 $CI$ 的大小,引入随机一致性指标 $RI$ ,公式为

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \dots + CI_n}{n},$$

其中,随机一致性指标 $RI$ 和判断矩阵的阶数有关,一般情况下,矩阵阶数越大,则出现一致性随机偏离的可能性也越大。

第4步,层次总排序及其一致性检验。

1.5.2 隶属函数评价 对各处理的生产性能(干草产量、株高、相对产量总和、土地当量比)、饲草品质(NDF、ADF、粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖含量)进行综

合评价。利用公式 $X(\mu) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ 分别计算各处理生产性能、饲草品质的隶属函数值。

式中: $X$ 为各处理某指标测定值的相对值, $X_{\max}$ 与 $X_{\min}$ 分别为所有处理中该指标相对值的最大值与最小值,若NDF与ADF含量与饲草品质呈负相关,则用公式为 $X(\mu) = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ 。最后把各处理的隶属函数值累加计算平均值,进行排名。

1.5.3 灰色关联度评价 筛选出所测定的各项指标的最优值为参考列,记为 $\{X_0(k)\} (k=1, 2, 3, \dots, n)$ ,以每一项指标作为评价指标的比较数列,即参评指标观测值集合,记为 $\{X_i(k)\} (i=1, 2, 3 \dots m; k=1, 2, 3, \dots, n)$ 。采用均值法对原始数据进行无量纲化处理,再根据标准化处理的结果求出 $X_0$ 与对应 $X_i$ 的绝对差值,计算出参试混播比例与性状之间的关联系数。计算加权关联度,最后进行关联度排名。

第1步,无量纲化处理:

$$X_i(k) = \frac{X_i(k)}{X_0(k)}, k=1, 2, \dots, n; i=0, 1, 2, \dots, m$$

第2步,计算关联系数:

$$\sum(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{\max_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中: $\rho=(0, \infty)$ ,称为分辨系数。 $\rho$ 越小,分辨率越大,一般 $\rho$ 的取值区间为(0, 1),本试验取值为0.5。

第3步,计算等权系数度:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), k=1, 2, \dots, n$$

第4步,计算权重系数: $\omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i}$

第5步,计算加权关联度: $\gamma_i' = \omega_i(k) \zeta(k)$

## 1.6 数据处理

用Excel和IBM SPSS 23软件对数据进行汇总与分析。

试验指标饲草鲜草产量(FGY)、干草产量(HGY)、禾本科株高(GPH)、豆科株高(LPH)、相对产量总和(RYT)、土地当量比(LER)。饲草品质有中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、可溶性糖(WSC)。

## 2 结果与分析

### 2.1 AHP(层次分析法)对禾豆混播模式的综合评价

2.1.1 建立递阶层次结构模型 通过表2、3建立判断矩阵标度表和相对性分析量化表,建立3个层次之间的两组层次判断矩阵,即目标层与准则层间、准则层与方案层间的判断矩阵,通过对比分析不同指标间

的相对重要性,同时将比对衡量初度量化,最终确定方案层中各指标对目标层的相对权重,进而得出决策结论,本研究建立递阶层次模型,通过方案层中混播组合与混播比例组合处理以准则层的生产性能指标与营养品质指标作为判断标准,确定各指标间相对性量化数值,最终达到目标层,筛选出适宜的禾豆混播模式。

表2 判断矩阵标度

Table 2 Judgment matrix scaling

递阶层次	含义
目标层	筛选适宜的禾豆混播模式。
准则层	生产性能、营养品质
方案层	混播组合(燕麦+箭筈豌豆、燕麦+饲用豌豆、小黑麦+箭筈豌豆、小黑麦+饲用豌豆)、混播比例80:20、70:30、60:40、50:50、40:60、30:70、20:80

表3 相对性分析量化

Table 3 Relativity analysis quantification

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同样重要性。
3	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要。
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要。
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要。
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要。
2、4、6、8	上述两相邻判断的中值。
倒数	A和B相比如果标度为3,那么B和A相比就是1/3

2.1.2 构造专家判断矩阵及一致性检验确定权重 由表4可知,若正互反矩阵满足 $a_{ij} \times a_{ji} = 1$ (满足这一条件的矩阵为正互反矩阵)。若正互反矩阵满足 $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ (各行各列之间呈倍数关系),则称其为一致矩阵。通过一致性检验结果表明: $CI=0.1$ ,查询可知 $RI=1.52$ 。 $CR=0.066 < 0.1$ ,则可认为判断矩阵的一致性可以接受。

2.1.3 混播组合指标相关判断矩阵的建立排序 由表5可知,混播组合A1处理的最终得分为 $A1=0.369 \ 3 \times 0.463 \ 0 + 0.092 \ 3 \times 0.400 \ 0 + 0.030 \ 6 \times 0.353 \ 3 + 0.046 \ 2 \times 0.266 \ 7 + 0.0 \ 62 \times 0.353 \ 3 + 0.092 \ 3 \times 0.111 \ 1 + 0.046 \ 2 \times 0.181 \ 8 + 0.046 \ 2 \times 0.181 \ 8 + 0.092 \ 3 \times 0.100 \ 0 + 0.092 \ 3 \times 0.142 \ 9 +$

表4 构建各指标专家判断矩阵(正互反矩阵)

Table 4 Construction of judgment matrix for each indicator (positive and negative matrix)

指标	指标										
	FGY	HGY	GPH	LPH	RYT	LER	NDF	ADF	CP	EE	WSC
FGY	1	4	12	8	8	4	8	8	4	4	8
HGY	1/4	1	3	2	2	1	2	2	1	1	2
GPH	1/12	1/3	1	2/3	2/3	1/3	2/3	2/3	1/3	1/3	2/3
LPH	1/8	1/2	3/2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1
RYT	1/8	1/2	3/2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1
LER	1/4	1	3	2	2	1	2	2	1	1	2
NDF	1/8	1/2	3/2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1
ADF	1/8	1/2	3/2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1
CP	1/4	1	3	2	2	1	2	2	1	1	2
EE	1/4	1	3	2	2	1	2	2	1	1	2
WSC	1/8	1/2	3/2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1



0.046 2×0.492 6=0.319 6,同理可知混播组合 A2=0.2531、A3=0.2137、A4=0.214 7,4种混播组合相比较可知,A1>A2>A4>A3,A1燕麦+箭筈豌豆混播组合得分最高,其次为A2燕麦+饲用豌豆混播组合较优,因此选择A1燕麦+箭筈豌豆混播组合。

2.1.4 混播比例中指标相关判断矩阵的建立排序  
由表6可知,混播比例B1处理的最终得分为B1=0.369 3×0.173 9+0.092 3×0.378 1+0.030 6×0.054 1+0.046 2×0.258 4+0.0.62×0.149 8+0.092 3×0.156 9+0.046 2×0.147 8+0.046 2×0.043 2+0.092 3×0.412 9+0.092 3×0.395 9+0.046 2×0.387 6=0.235 5,同理可知混播比例B2=0.287 5、B3=0.247 0、B4=0.131 2、B5=0.196 1、B6=0.172 6、B7=0.160 9,7种混播比例相比较可知,

B2>B3>B1>B5>B6>B7>B4,其中B2(70:30)混播比例处理得分最高,为0.2875,其次为B3(60:40)混播比例较优,因此选择B2(70:30)混播比例。

## 2.2 隶属函数对禾豆混播模式综合评价分析

由表7可知,不同禾豆混播模式中,A1B3混播模式采用隶属函数综合评价结果得分最高,为0.69。A2B4混播模式次之,得分为0.65。分析各个混播组合及比例交互作用下得分情况可知,燕麦+箭筈豌豆混播处理,得分情况从大到小依次为,A1B3>A1B7>A1B5>A1B6>A1B4>A1B2>A1B1。燕麦+饲用豌豆混播处理,得分情况从大到小依次为,A2B4>A2B7>A2B6>A2B3>A2B5>A2B2>A2B1。小黑麦+箭筈豌豆混播处理,得分情况从大到小依次为,A3B4>A3B7>A3B6>A3B2>A3B5>A3B1>

表5 禾豆混播组合中各指标相关判断矩阵的建立

Table 5 Establishment of the judgment matrix related to each indicator in the mixed gram-bean combination

处理	权重	混播组合			
		A1	A2	A3	A4
FGY	0.369 3	0.463 0	0.152 8	0.231 5	0.152 8
HGY	0.092 3	0.400 0	0.100 0	0.400 0	0.100 0
GPH	0.030 6	0.353 3	0.176 7	0.353 3	0.116 6
LPH	0.046 2	0.266 7	0.533 3	0.066 7	0.133 3
RYT	0.046 2	0.353 3	0.176 7	0.116 6	0.353 3
LER	0.092 3	0.111 1	0.444 4	0.222 2	0.222 2
NDF	0.046 2	0.181 8	0.363 6	0.090 9	0.363 6
ADF	0.046 2	0.181 8	0.3633 6	0.090 9	0.363 6
CP	0.092 3	0.100 0	0.400 0	0.100 0	0.400 0
EE	0.092 3	0.142 9	0.285 7	0.285 7	0.285 7
WSC	0.046 2	0.492 6	0.246 3	0.162 6	0.098 5

表6 禾豆混播比例中各指标相关判断矩阵的建立

Table 6 Establishment of the judgment matrix related to each indicator in the mixed gram-bean ratio

处理	权重	混播比例						
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
FGY	0.369 3	0.173 9	0.247 8	0.314 7	0.124 4	0.147 8	0.295 6	0.295 6
HGY	0.092 3	0.378 1	0.339 0	0.219 5	0.239 0	0.312 5	0.056 3	0.156 3
GPH	0.030 6	0.054 1	0.316 2	0.427 0	0.162 2	0.162 2	0.162 2	0.008 1
LPH	0.046 2	0.258 4	0.256 4	0.318 9	0.126 3	0.255 4	0.164 6	0.154 5
RYT	0.046 2	0.149 8	0.315 6	0.014 7	0.019 5	0.136 5	0.054 1	0.054 4
LER	0.092 3	0.156 9	0.459 1	0.214 5	0.145 2	0.249 1	0.246	0.045 6
NDF	0.046 2	0.147 8	0.256 4	0.256 3	0.125 1	0.162 2	0.146 1	0.164 2
ADF	0.046 2	0.043 2	0.284 5	0.348 2	0.247 5	0.159 5	0.057 4	0.115 4
CP	0.092 3	0.412 9	0.236 7	0.222 3	0.026 4	0.169 5	0.026 4	0.015 4
EE	0.092 3	0.395 9	0.352 9	0.041 2	0.137 1	0.264 1	0.016 5	0.087 8
WSC	0.046 2	0.387 6	0.148 3	0.215 6	0.125 8	0.254 0	0.154 2	0.015 4

A3B3。小黑麦+饲用豌豆混播处理,得分情况从大到小依次为,A4B6>A4B4>A4B1>A4B2>A4B5>A4B7>A4B3。综合4种混播组合及比例结果分析,

高寒地区进行禾豆混播时,最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(60:40),其次为燕麦+饲用豌豆(50:50)。

表7 隶属函数对禾豆混播模式综合评价分析

Table 7 Comprehensive evaluation analysis of gram-bean mixed sowing pattern by affiliation function

处理	隶属函数值											平均值	排序
	FGY/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	HGY/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	GPH/ cm	LPH/ cm	RYT	LER	NDF/%	ADF/%	CP/%	EE/%	WSC/%		
A1B1	0.13	0.19	0.37	0.07	0.19	0.00	0.13	0.13	0.09	0.05	0.11	0.13	28
A1B2	0.00	0.22	0.45	0.36	0.10	0.07	0.25	0.25	0.13	0.00	0.18	0.18	27
A1B3	0.74	0.56	0.77	0.57	0.68	0.72	0.77	0.69	0.54	0.74	0.81	0.69	1
A1B4	0.47	0.38	0.20	0.12	0.50	0.33	0.00	0.00	0.24	0.11	0.03	0.22	26
A1B5	1.00	0.45	0.37	0.31	1.00	0.47	0.11	0.11	0.22	0.06	0.10	0.38	20
A1B6	0.34	0.16	0.30	0.06	0.39	0.28	0.80	0.80	0.23	0.38	0.26	0.36	22
A1B7	0.48	0.53	0.37	0.46	0.53	0.68	1.00	1.00	0.52	0.62	0.27	0.59	6
A2B1	0.13	0.83	0.29	0.00	0.17	0.44	0.16	0.16	0.10	0.42	0.45	0.29	25
A2B2	0.73	0.69	0.12	0.00	0.69	0.40	0.34	0.34	0.21	0.34	0.03	0.35	24
A2B3	0.73	0.38	0.48	0.30	0.57	0.23	0.33	0.33	0.22	0.12	0.40	0.37	21
A2B4	0.61	0.78	0.63	0.66	0.59	0.73	0.82	0.67	0.75	0.71	0.22	0.65	2
A2B5	0.66	0.00	0.29	0.91	0.64	0.04	0.36	0.36	0.25	0.39	0.17	0.36	23
A2B6	0.72	0.23	0.00	0.78	0.68	0.28	0.80	0.80	0.24	0.37	0.42	0.48	13
A2B7	0.76	0.40	0.26	0.59	0.93	0.49	0.99	0.99	0.21	0.54	0.76	0.63	3
A3B1	0.51	0.54	0.92	0.82	0.38	0.39	0.12	0.12	0.29	0.49	0.00	0.42	17
A3B2	0.35	0.60	1.00	0.51	0.29	0.47	0.25	0.25	0.27	0.90	0.32	0.47	14
A3B3	0.28	0.64	0.87	0.51	0.22	0.58	0.23	0.23	0.17	0.55	0.08	0.40	18
A3B4	0.78	0.88	0.69	0.60	0.66	0.84	0.30	0.30	0.54	0.60	0.71	0.63	4
A3B5	0.37	0.66	0.61	0.55	0.29	0.70	0.19	0.19	0.09	0.96	0.48	0.46	15
A3B6	0.22	0.48	0.63	0.37	0.17	0.61	0.63	0.63	1.00	0.46	0.26	0.50	11
A3B7	0.67	0.63	0.81	0.27	0.55	0.81	0.50	0.50	0.96	0.52	0.46	0.61	5
A4B1	0.73	1.00	0.85	0.81	0.54	0.70	0.20	0.20	0.12	0.39	0.31	0.53	9
A4B2	0.42	0.82	0.90	0.81	0.29	0.61	0.52	0.52	0.05	0.73	0.15	0.53	10
A4B3	0.37	0.67	0.72	0.28	0.26	0.54	0.23	0.23	0.00	0.37	0.54	0.38	19
A4B4	0.54	0.59	0.86	0.73	0.39	0.53	0.50	0.50	0.15	0.77	0.50	0.55	8
A4B5	0.58	0.49	0.79	0.64	0.44	0.51	0.19	0.19	0.42	0.43	0.73	0.49	12
A4B6	0.38	0.44	0.47	0.44	0.45	0.49	0.53	0.57	0.66	1.00	1.00	0.58	7
A4B7	0.05	0.28	0.68	1.00	0.00	1.00	0.27	0.74	0.52	0.28	0.19	0.46	16

### 2.3 灰色关联度综合评价方法对禾豆混播模式综合评价分析

由表8可知,混播组合×混播比例交互作用,采用灰色关联度对其生产性能与饲草品质进行对比评价时,A1B2混播处理下饲草得分最高,为0.9247,A4B6混播处理得分次之,为0.8820。而分析各个混播组合及比例交互作用下得分情况可知,燕麦+箭筈豌豆混播处理中,得分情况从大到小依次为,A1B2>A1B7>A1B5>A1B6>A1B4>A1B3>A1B1。燕麦+饲用

豌豆混播处理中,得分情况从大到小依次为,A2B7>A2B6>A2B2>A2B5>A2B4>A2B3>A2B1。小黑麦+箭筈豌豆混播处理中,得分情况从大到小依次为,A3B7>A3B4>A3B5>A3B6>A3B2>A3B1>A3B3。小黑麦+饲用豌豆混播处理中,得分情况从大到小依次为,A4B6>A4B7>A4B2>A4B1>A4B4>A4B5>A4B3。综合4种混播组合及比例结果分析,高寒地区进行禾豆混播时,最优混播组合及比例为燕

麦+箭筈豌豆(70:30),其次为小黑麦+饲用豌豆(30:70)。

### 3 讨论

#### 3.1 AHP评价对禾豆混播生产性能和饲草品质的影响

层次分析法是美国运筹学家、匹兹堡大学教授Aaaty T L<sup>[20-21]</sup>提出并创立的一种系统分析与决策的综合评价方法,把问题分解成多个因素,通过两两比较的方法确定决策方案相对重要度的总排序,但所考虑的因素较多时,导致人为主观性较强。本试验结果表明通过建立递阶层次结构模型,计算得到 $CR=0.066<0.1$ ,认为判断矩阵的一致性可以接受。4种混播组合结果表明,混播组合大小依次为 $A1>A2>A4>A3$ ,燕麦+箭筈豌豆的混播组合得分最高,而小黑麦+豆科混播组合(A3、A4)排名相对较低,可能是人为打分造成<sup>[22]</sup>,一方面燕麦+豆科混播组合产量及品质相对较为稳定,因此在构建判断矩阵时,对燕麦+豆科处理的产量及品质指标打分时重心有所偏移<sup>[23]</sup>;另一方面小黑麦+豆科组合在生长过程中发现饲草的叶片数量相对较少,叶片纤细,燕麦虽植株高度相对较低,但叶片宽大,结合两种禾本科饲草在生

育过程中的情况,燕麦+豆科处理下对自然资源的接受能力高于小黑麦+豆科处理,原因可能是与试验地的地理位置及建植的混播品种不同<sup>[24]</sup>。在不同混播比例中B2(70:30)混播比例得分最高,为0.2875,燕麦+箭筈豌豆(70:30)混播比例最优。张仁平等<sup>[25-26]</sup>进行禾豆混播建植结果表明,综合饲草产量、营养成分和土壤养分动态变化数据,紫花苜蓿+无芒雀麦(5:5)混播时在豆科饲草初花期综合评价最好,这与本试验结果有一定的差异,主要原因有:1)所选择的混播材料不同导致结果差异;2)试验地差异,本试验地位于高海拔地区,气候条件相对较差,导致饲草整个生长季较短,营养物质积累量相对较少。

#### 3.2 隶属函数综合评价对禾豆混播生产性能和饲草品质的影响

隶属函数分析法对不同性状指标进行综合分析,从而以对品质品种的综合能力做出全面合理的评价<sup>[27]</sup>。目前该方法在大豆、小麦、玉米、马铃薯等农作物资源性状评价方面有诸多报道<sup>[28-29]</sup>。而本试验结果表明,隶属函数分析法在禾豆混播方面进行综合评价时最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(60:40),得分为0.69,其次为燕麦+饲用豌豆(50:50),得

表8 灰色关联度综合评价对禾豆混播模式评价分析

Table 8 Evaluation analysis of the grey correlation integrated evaluation of the gram-bean mixed sowing pattern

处理	等权关联度	加权关联度	排序	处理	等权关联度	加权关联度	排序
A1B1	7.080 8	0.678 8	28	A3B1	8.009 7	0.780 7	19
A1B2	9.004 3	0.924 7	1	A3B2	8.261 6	0.798 0	17
A1B3	7.303 3	0.701 2	27	A3B3	7.948 3	0.771 0	24
A1B4	7.632 7	0.749 8	26	A3B4	8.517 0	0.830 0	9
A1B5	8.271 9	0.822 9	11	A3B5	8.457 1	0.810 7	12
A1B6	8.190 9	0.775 8	20	A3B6	8.422 7	0.800 6	15
A1B7	8.852 5	0.840 2	7	A3B7	8.826 2	0.847 3	5
A2B1	7.802 4	0.751 7	25	A4B1	8.575 4	0.833 0	8
A2B2	8.206 2	0.800 6	16	A4B2	8.935 6	0.844 3	6
A2B3	7.971 0	0.773 4	23	A4B3	8.018 3	0.775 1	22
A2B4	7.923 7	0.775 4	21	A4B4	8.724 1	0.828 0	10
A2B5	8.047 5	0.787 0	18	A4B5	8.445 0	0.808 3	13
A2B6	8.350 3	0.804 8	14	A4B6	9.399 8	0.882 0	2
A2B7	9.178 7	0.873 8	3	A4B7	9.195 8	0.854 9	4

分为0.65。魏晓丽等<sup>[30]</sup>采用隶属函数分析法进行试验,结果表明在青海省海北州小黑麦+饲用豌豆的最佳混播量为 $180\text{ kg/hm}^2+48\text{ kg/hm}^2$ ,其次为 $150\text{ kg/hm}^2+60\text{ kg/hm}^2$ 。这与本试验得出的结果有一定的差异,原因可能是海拔高度以及气候条件造成的,海北州西海镇平均海拔高度为3 210 m,年降水量为366.4 mm,年平均气温 $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$ ,本试验在青海三江源草地生态系统国家野外科学观测研究站进行,海拔高度为4 270 m,年均降水量为500.6 mm,年平均气温为 $-5.6\sim 3.8\text{ }^\circ\text{C}$ ,气候条件相对较差,因此对禾豆混播在产量及品质方面有一定的影响。

### 3.3 灰色关联度综合评价对禾豆混播生产性能和饲草品质的影响

灰色关联度综合评价体系是由邓聚龙<sup>[31]</sup>于1982年提出的一种统计方法,最重要的步骤为各项权重的确定,畅宝花等<sup>[22]</sup>认为,NDF、ADF和相对饲用价值占比较高。马军等<sup>[33]</sup>则认为,相对产量总和、粗灰分和牧草产量占比较高。本试验结果表明RYT、豆科株高、禾本科株高占比较大,说明针对不同研究对象和地区所选择的评价指标不同,各项指标的权重大小也存在一定的差异。本试验混播组合×混播比例交互条件结果表明,最优混播组合及比例为燕麦+箭筈豌豆(70:30),得分为0.924 7,说明燕麦+箭筈豌豆混播模式较优,产量及品质相对稳定,相对其他3种混播处理更适宜在三江源地区进行建植,主要原因可能是豆科与禾本科在混播建植时,在氮素的利用及转化方面燕麦+箭筈豌豆处理有较好的协同作用<sup>[34]</sup>。罗彩云等<sup>[35]</sup>在青海湖地区混播试验结果认为燕麦+箭筈豌豆最佳的混播比例为(1:1),与本试验结果产生的差异主要是试验地的地理位置及海拔高度导致,本试验海拔4 270 m,青海湖地区海拔高度为3 200 m,自然条件有一定的差异,而且两者试验地区的土壤条件等也会对饲草产量及品质造成很大影响,不同混播处理间的差异对混播草地的生长季与草地的长期利用有一定的影响,混播草地中存在一定的种间竞争关系,主要表现为对空间和土壤资源的竞争<sup>[36-37]</sup>。

### 3.4 3种不同评价方法对禾豆混播生产性能和饲草品质对比分析

AHP(层次分析法)评价方法、隶属函数综合评价和灰色关联度综合评价方法对不同禾豆混播模式表

现出了不同的评价结果,其中AHP(层次分析法)评价方法和灰色关联度综合评价方法均表明燕麦+箭筈豌豆(70:30)为最佳混播模式,隶属函数综合评价表明燕麦+箭筈豌豆(60:40)为最佳混播模式。但AHP(层次分析法)评价方法在对各项指标进行打分评价时,人为主观因素较大,对评价结果有较大的影响,隶属函数综合评价与灰色关联度评价方法是各项指标进行计算得出最后排序结果,人为因素影响较小,但隶属函数评价在禾豆混播方面研究较少,选择的各项指标时也有一定的差异,对最终结果的准确性有一定的影响<sup>[38]</sup>。灰色关联度评价方法对各指标有客观的考虑,利用熵权法对各项指标和最优生产性能条件下确定权重,兼顾了饲草产量、品质,能客观的反映出适宜在高寒地区建植的混播组合及混播比例。因此综合3种不同评价方法的优缺点,以三江源地区选择燕麦+箭筈豌豆(70:30)为最佳混播模式,最佳评价方法为灰色关联度评价,其次为隶属函数综合评价,最后为AHP(层次分析法)。

## 4 结论

通过不同评价体系对禾豆混播模式进行生产性能和营养品质评价得分,结果表明,3种评价体系燕麦+箭筈豌豆(70:30)最适宜进行混播建植,其次为燕麦+箭筈豌豆(60:40)。结合试验地区海拔条件等因素,优先推荐灰色关联度综合评价方法,其次为隶属函数综合评价,最后推荐AHP(层次分析法)评价方法。

### 参考文献:

- [1] 韩德梁,何胜江,陈超,等. 禾豆混播草地群落稳定性的比较[J]. 生态环境,2008,17(5):1974-1979.
- [2] 胡永君,吴剑,胡瑞山. 生态文明建设“两山”理论的内在逻辑与发展路径[J]. 中国工程科学,2019,21(5):151-158.
- [3] 葛世帅,曾刚,杨阳,等. 黄河经济带生态文明建设与城市化耦合关系及空间特征研究[J]. 自然资源学报,2021,36(1):87-102.
- [4] 杨莉,刘海燕. 习近平“两山理论”的科学内涵及思维能力的分析[J]. 自然辩证法研究,2019,35(10):107-111.
- [5] 张小芳,张春平,董全明,等. 三江源区高寒胡波草地群落结构特征的研究[J]. 草地学报,2020,28(4):1090-



- 1099.
- [6] 马玉寿. 三江源区“黑土滩”退化草地形成机理与恢复模式研究[D]. 兰州. 甘肃农业大学, 2006:4-6.
- [7] 张莉, 王长庭, 刘伟, 等. 不同建植期人工草地优势种植物根系活力、群落特征及其土壤环境的关系[J]. 草业学报, 2012, 21(5):185-194.
- [8] 任继周. 我国传统农业结构不改变不行了一粮食九连增后的隐忧[J]. 草业学报, 2013, 22(3):1-5.
- [9] 王堃, 张玉娟, 刘克思, 等. 加强人工草地建设推进我国畜牧业健康发展[J]. 草原与草业, 2014, 26(2):1-4.
- [10] 尚占环, 董全明, 施建军, 等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近10年研究进展—兼论三江源生态恢复问题[J]. 草地学报, 2018, 26(1):1-21.
- [11] 秦燕, 刘勇, 张永超, 等. 不同混播比例对燕麦和箭筈豌豆混播草地植物生长特征的影响[J]. 草地学报, 2020, 28(6):1768-1774.
- [12] 谢开云, 赵云, 李向林, 等. 豆—禾混播草地种间关系的研究进展[J]. 草业学报, 2013, 22(3):284-296.
- [13] 周青平. 高寒地区一年生禾豆饲草混播群落内部组分及调控的研究[D]. 兰州. 甘肃农业大学, 2003:7-9.
- [14] 青海省统计局, 国家统计局青海调查总队. 青海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018:276-307.
- [15] 周福平, 史红梅, 张海燕, 等. 应用模糊隶属函数法对高粱种质资源的农艺性状和品质性状进行综合评价[J]. 种子, 2022, 41(1):94-98.
- [16] 刘晓英, 陈琴. 牧草混播技术简介[J]. 草业与畜牧, 2010(11):61-62.
- [17] 俞晓玉, 王树成, 高娃, 等. 粮食中蛋白质含量的测定[J]. 广东化工, 2017, 44(4):114-115.
- [18] 马莉, 刘大伟, 刘超群, 等. 饲料用大豆粕粗脂肪含量测定不同方法的比较[J]. 农业与技术, 2015, 35(20):1-2.
- [19] 李博, 张丹丹, 程景, 等. 不同方法测定饲料中的中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量分析[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(12):187-190.
- [20] THOMAS L S. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [21] THOMAS L S. Scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15:234-281.
- [22] 李娟, 李保安, 方晗, 等. 基于AHP—熵权法的发明专利价值评估—以丰田开放专利为例[J]. 情报杂志, 2020, 39(5):59-63.
- [23] 戴桂林, 林春宇, 付秀梅, 等. 中国海洋药用生物资源可持续利用潜力评价—基于熵权—层次分析法[J]. 资源科学, 2017, 39(11):2176-2185.
- [24] 邵春慧, 徐强, 史志强, 等. 夏河农牧交错区小黑麦与豆科牧草混播的生产性能研究[J]. 草地学报, 2022, 30(10):2791-2801.
- [25] 张仁平, 于磊, 唐卫云, 等. 绿洲区紫花苜蓿和无芒雀麦混播草地的综合评价[J]. 草原与草坪, 2009(1):61-64+70.
- [26] 张仁平. 绿洲区苜蓿与无芒雀麦混播草地种群特征和第一性生产力的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2007.
- [27] 邓杰, 李婷, 蔡书婷, 等. 24份玉米品种萌发期耐碱性的综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2020, 32(5):1-6.
- [28] 张芳, 颜安, 任毅, 等. 新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(1):100-112.
- [29] Yan C J, Song S H, Wang W B, *et al.* Screening diverse soy-bean genotypes for drought tolerance by membership function value based on multiple traits and drought-tolerant coefficient of yield[J]. Plant Biology, 2020, 20(1):321.
- [30] 魏晓丽, 徐成体, 蒲小剑, 等. 海北州小黑麦与饲用型豌豆混播生产性能及营养品质分析[J]. 草地学报, 2022, 30(1):236-244.
- [31] 邓聚龙. 灰色系统与农业[J]. 山西农业科学, 1985(5):34-37.
- [32] 畅宝花, 张艳秋, 翟书林, 等. 不同禾本科牧草在煤矿沉陷区的生长适应性与饲用价值比较[J]. 中国草地学报, 2022, 44(1):64-70.
- [33] 马军, 郑伟, 朱婧蓉, 等. 燕麦与箭筈豌豆混播草地不同刈割时期生产性能的对比分析[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(8):1547-1554.
- [34] 张静, 赵成章. 高寒山区混播草地燕麦和毛苕子生物量分配格局对组分密度比的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2):266-270.
- [35] 罗彩云, 赵亮, 赵新全, 等. 青海湖地区燕麦与箭筈豌豆最佳混播比例的筛选[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1):95-99.
- [36] Amusan A O, Adetunji M T, Azeez J O, *et al.* Effect of the integrated use of legume residue, poultry manure and inorganic fertilizers on maize yield, nutrient uptake and soil properties[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,

- 2011,90(3):321–330.
- [37] Zhang D B, Yao P W, Zhao N, *et al.* Building up the soil carbon pool via the cultivation of green manure crops in the Loess Plateau of China [J]. *Geoderma*, 2019, 337: 425–443.
- [38] Huang M B, Shao M A, Zhang L, *et al.* Qater use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2003, 72(1):95–104.

## A comprehensive study evaluating the optimal mixing ratio of annual gram-bean mixed artificial grass in the Sanjiangyuan area

FENG Ting-xu, DE ke-jia\*, XIANG Xue-mei, QIAN Shi-yi, LIN Wei-shan, LI Fei, WEI Xi-jie, WANG Wei, ZHANG Lin

(College of Animal Husbandry and Veterinary Science, Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** 【Objective】 In order to investigate the optimal comprehensive evaluation model for establishing an artificial grass mixed seeding system in the Sanjiangyuan area of Qinghai Province. 【Method】 This paper employed three different comprehensive evaluation methods to screen suitable gram-bean mixed seeding combinations and proportions for planting in the Sanjiangyuan area. 【Result】 The test results revealed that, among the three evaluation methods chosen, the AHP hierarchical analysis method identified the ideal mixed sowing combination and ratio as *Avena sativa* + *Vicia sativa* (70:30), the affiliation function evaluation method identified it as *Avena sativa* + *Vicia sativa* (60:40), and the gray correlation evaluation method determined it as *Avena sativa* + *Vicia sativa* (70:30). 【Conclusion】 The best combined combination and ratio of *Avena sativa* + *Vicia sativa* (70:30) is proposed for the alpine region, based on the the integrated gray correlation evaluation approach, considering the altitude conditions of the test area and other parameters.

**Key words:** Sanjiangyuan region; grass and bean mix; production effectiveness; dietary value; thorough evaluation

(责任编辑 靳奇峰)