

AHP 模型在牧草饲用价值评定中的应用^{*}

龙明秀, 邢志和

(西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 牧草的饲用价值受许多因素的影响, 运用 AHP 模型对聚合草、鲁梅克斯 K-1、串叶松香草、菊苣等 4 种高效牧草进行了综合评价。结果表明, 牧草饲用价值是化学成分、适口性、消化率 3 大因素综合作用的结果; 粗蛋白因素在牧草饲用价值评价中所占的比重较大, 一般情况下, 粗蛋白含量越高, 饲用价值也越好; 4 种牧草饲用价值综合排序为: 聚合草> 鲁梅克斯> 串叶松香草> 菊苣。

[关键词] AHP 模型; 牧草; 饲用价值; 综合评价

[中图分类号] S816.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)06-0127-04

牧草饲用价值是一个多层次概念, 它受许多因素的影响。科学评价牧草的饲用价值, 对牧草的充分利用具有重要意义。但是由于各个评价因素间的关系错综复杂, 人们很难依据相互分离的单个因素去量化判断牧草的综合价值。要对多项因素进行综合评价, 就必须首先对每一个因素在总评价中所起作用的本身给予一个定量分析, 为避免这一过程中的人为主观性和经验性, 本试验尝试应用一种新的定性与定量分析相结合的运筹学方法模型——层次分析法模型(The Analytic Hierarchy Process, 即 AHP)进行综合评价。

层次分析法(AHP)是由美国运筹学家、匹兹堡大学教授 Saaty 于 20 世纪 70 年代创立的一种系统分析与决策的综合评价方法^[1], 其是在充分研究人们思维过程的基础上提出的, 比较合理地解决了定性问题量化的处理过程。1982 年, 该方法在中美能源、资源、环境学术会议上首次介绍到中国, 近几年来, AHP 已在能源利用、经济分析、医学诊断、科研管理、农业资源等领域取得了广泛应用, 张喜军等^[2]、韩永芬等^[3]也曾将其成功应用于牧草饲用价值的评定研究。本试验借助这一评价模型, 对 4 种经济价值较高的牧草的饲用价值进行综合评价, 以期种植户和养殖户提供科学的理论依据。

1 材料与方法

试验材料为聚合草、串叶松香草、鲁梅克斯和菊苣 4 种高效牧草(由西北农林科技大学牧草试验站

提供), 分别于初花期对其全株采样并进行风干处理, 测定其水分含量并进行常规化学分析(主要分析粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物 4 项指标); 其适口性主要通过实地观察饲喂效果和资料查询^[4, 5]判定; 消化率由经验公式 $Y = 123.5068 - 2.279X$ (Y 为有机物质消化率, X 为粗纤维含量)计算^[6], 然后运用层次分析和多因子模糊综合评判方法建立数学模型^[7, 8], 从而确定各性状指标的权重值, 排出优先序。

2 模型的建立

运用 AHP 模型进行决策, 大体上可以分为 5 个步骤:

(1) 明确问题, 建立决策目标。本试验的主要目标是评价高效牧草的饲用价值。

(2) 分析系统中各个因素之间的关系, 建立系统递阶层次结构。复杂问题的组成元素可以被分为若干部分, 每一部分被称为因素, 这些因素按其属性及相互之间的关系形成若干层次, 上一层次因素对下一层次的有关因素起支配作用, 这种自上而下的支配关系所形成的层次结构被称为递阶层次结构。

牧草饲用价值的影响因素可以分为牧草因素和家畜因素 2 大类。牧草因素包括植株部位、生长阶段、气候、土壤、病虫害等; 家畜因素主要包括家畜品种、年龄阶段、健康状况等, 这些因素都是通过影响牧草化学成分、适口性和消化率来影响牧草的饲用价值。牧草的化学成分又决定于牧草所含营养成分

^{*} [收稿日期] 2002-12-02

[作者简介] 龙明秀(1971-), 女, 陕西宁强人, 讲师, 在读博士, 主要从事草业科学研究。

的质和量,这里选取化学成分、适口性和消化率作为第一层因素,选取粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物的百分含量作为影响化学成分因素的指标,即递阶层次结构的第二层因素;牧草的适口性好坏则决定了家畜对牧草的采食率,将牧草的适口性划分

为嗜食、喜食、乐食、少食和不食 5 个等级,分别用 5, 4, 3, 2, 1 作为适口性的相应等级量指标;而消化率的高低又决定了家畜对牧草的利用程度。综合上述因素之间的相互关系,构建的递阶层次结构见表 1。

表 1 递阶层次结构表

目标层(A) Target layer(A)	准则层(因素层) The criterion layer(the factor layer)	
	第一层(B) The first layer(B)	第二层(C) The second layer(C)
	化学成分(B ₁) Chemical composition (B ₁)	粗蛋白(C ₁) Crude protein (C ₁) 粗脂肪(C ₂) Crude fat (C ₂) 无氮浸出物(C ₃) Nitrogen-free extract (C ₃) 粗纤维(C ₄) Crude fiber (C ₄)
牧草饲用价值 The feeding value of forage	适口性(B ₂) Edibility (B ₂)	
	消化率(B ₃) Digest rate (B ₃)	

(3)对同一层次各个因素关于上一层中某一准则的重要性进行两两比较,构建判断矩阵。在目标层和因素层上,根据对各个因素重要程度的判断,利用 Saaty 提供的方法配对比较,构建判断矩阵:针对准则 C,根据对 C 所支配因素 u_i 和 u_j 的重要性判断,

用阿拉伯数字 1~ 9 对其进行标度,表 2 给出了 1~ 9 个标度的含义。这样对于准则 C,几个被比较因素通过两两比较构成了 1 个判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$,其中 a_{ij} 就是因素 u_i 与 u_j 相对于 C 的重要度比值。

表 2 因素重要性标度含义表

标度 Criterion	含 义 Meaning
1	u_i 与 u_j 具有相同的重要性 u_i and u_j have the same importance
3	u_i 比 u_j 稍重要 u_i is slightly important than u_j
5	u_i 比 u_j 重要 u_i is important than u_j
7	u_i 比 u_j 强烈重要 u_i is more important than u_j
9	u_i 比 u_j 的极端重要 u_i has the utmost importance than u_j
2, 4, 6, 8	u_i 与 u_j 重要性之比界于以上两者之间 The importance ratio of u_i and u_j is in the range of both
倒数 Inverted value	若 u_i 与 u_j 重要性之比为 a_{ij} , 则 u_i 对 u_j 之比为 $a_{ji}= 1/a_{ij}$ If the importance ratio of u_i and u_j is a_{ij} , then the ratio of u_i and u_j is $a_{ji}= 1/a_{ij}$

由于精确计算矩阵的特征根 λ 和权向量 w 比较麻烦,用下列近似计算公式则更方便,且误差甚微^[1]。

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}},$$
$$\lambda = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{(AW)_i}{w_i}$$

试验判断矩阵及权重向量列于表 3 和表 4。

表 3 判断矩阵 A~B

Table 3 Judicious rectangle array A~B				
A	B ₁	B ₂	B ₃	W
B ₁	1	2	4	0.571
B ₂	1/2	1	4	0.287
B ₃	1/4	2	1	0.142

注:w 为主特征向量。下同。

Note:W is the main character factor. The same is in the following table

表 4 判断矩阵 B~C

Table 4 Judicious rectangle array B~C					
B	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	W
C ₁	1	2	4	6	0.496 3
C ₂	1/2	1	2	4	0.287
C ₃	1/4	1/2	1	2	0.144
C ₄	1/6	1/4	1/2	1	0.073

(4)由判断矩阵计算被比较因素相对于该准则的相对权重,并进行一致性检验。构建判断矩阵时,1~ 9 标度决定了三阶以上的判断矩阵很难满足一致性,但要求判断矩阵有大体的一致性。出现甲比乙极端重要,乙比丙极端重要,而丙又比甲极端重要的判断一般是违反常识的。当判断矩阵过于偏离一致性时,上述各种排序权值计算的可靠程度也就值得怀疑。因此需要对判断矩阵的一致性进行检验。其步骤为:

①计算一致性指标 CI (Consistent Index)

$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

②查找相应的平均随机一致性指标 RI (Ran-

dom Index)。表 5 给出了 1~ 12 阶互反矩阵的平均随机一致性指标。

表 5 随机性指标 RI 值

Table 5 The value of Random Index (RI)

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

③计算一致性比率 CR (Consistent Ration)

$CR = CI / RI$

当 $CR < 0.10$ 时, 判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则应对判断矩阵作适当调整。

试验判断矩阵的一致性检验如下:

判断矩阵 $A \sim B$:

$\lambda = 3.0, CI = 0, RI = 0.52, CR = 0$

判断矩阵 $B \sim C$

$\lambda = 4.012, CI = 0.004, RI = 0.89, CR = 0.0045$

两个矩阵的 CR 均小于 0.10, 故判断矩阵满足一致性要求。

(5) 计算各个层次相对于系统目标的合成权重, 并进行排序。假定已经算出第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个因素相对于总目标的排序权重为 $w^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T$, 第 k 层 n_k 个因素相对于第 $k-1$ 层上第 j 个因素为准则的单排序向量 $p_j^{(k)} = (p_{1j}^{(k)}, p_{2j}^{(k)}, \dots, p_{n_{kj}}^{(k)})^T$, 其中不受 j 因素支配的因素权重为 0。矩阵 $P^{(k)} = (P_1^{(k)}, P_2^{(k)}, \dots, P_{n_{kj}}^{(k)})^T$ 是 $n_k \times n_{k-1}$ 阶矩阵, 表示第 k 层上因素相对于第 $k-1$ 层上各个因素的排序, 那么第 k 层上因素相对于总目标的总排序向量 $W^{(k)}$ 为

$W^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{n_k}^{(k)})^T = P^{(k)} W^{(k-1)}$

表 7 牧草的化学成分、适口性、有机物消化率及综合效果测度值

Table 7 Forage's chemical composition, edibility digest rate of organic matter and synthetic effect value

牧草名称 Name of the variety	化学成分/(g · kg ⁻¹) Chemical composition				消化率/% Digest rate	适口性 Edibility	综合效果 测度值 Synthetic effect value
	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	无氮浸出物 Nitrogen-free extract	粗纤维 Crude fiber			
串叶松香草 <i>Silphium perfoliatum</i> L.	181	15	369	164	861	4	22.46
菊苣 <i>Lactuca indicia</i> L.	164	19	300	246	674	5	19.46
聚合草 <i>Symphytum peregrynium</i> Ledeb.	227	13	314	137	923	3	23.76
鲁梅克斯 <i>Rumex K-1</i>	268	14	324	218	738	4	23.02

粗蛋白含量是影响牧草饲用价值的一个重要因素, 一般粗蛋白含量高的牧草其饲用价值也比较高。本试验中粗蛋白的排序为鲁梅克斯> 聚合草> 串叶松香草> 菊苣, 与 r 值的排序结果基本一致。

从表 7 还可以看出, 聚合草的适口性最差, 但由于其粗纤维的含量较低, 导致消化率高于鲁梅克斯, 其综合评价值也跃居第一。不过, 由于聚合草全生长

并且, 一般公式为

$W^{(k)} = P^{(k)} P^{(k-1)} \dots P^{(3)} W^{(2)}$

式中, $W^{(2)}$ 是第二层上因素的总排序向量, 也是单准则下的排序向量。

本试验各因素的合成权重见表 6。

表 6 因素合成权重表

Table 6 The importance balance table on compound factors

A	B ₁ 0.571	B ₂ 0.287	B ₃ 0.142	W
C ₁	0.496	0	0	0.2833
C ₂	0.287	0	0	0.1638
C ₃	0.144	0	0	0.0823
C ₄	0.073	0	0	0.0417

3 结果与分析

牧草饲用价值是牧草化学成分、适口性和消化率 3 大因素综合作用的结果。排序值反映了牧草饲用价值的好坏, 排序值越大, 说明该牧草的饲用价值越高。运用上述模型对 4 种牧草排序值的计算结果(表 7)表明, 4 种牧草中聚合草饲用价值的综合评价位于第一, 其后依次为鲁梅克斯、串叶松香草和菊苣。

有较硬的短刚毛, 一般不宜直接用来饲喂家畜, 最好经过粉碎打浆后进行饲喂, 处理后的聚合草柔软多汁, 不仅营养丰富, 而且消化率高, 为各种家畜所喜食。菊苣的适口性最好, 但由于粗纤维含量较高, 消化率较低, 综合评价值排在最后。

4 讨 论

1) 综合评价中各个因素标度数值的确定是一个难点,对于有经验的工作者来说,通过对不同影响因素的打分和人为给定权数进行综合评价是可行的,但对于大多数工作者来说就很难准确打分并确定权重。而AHP模型可以把定性问题定量化,从而避免了人为主观性,减少了人为失误,同时判断矩阵和一致性度量检验的应用,确保评价结果更加客观合理。

2) 由于影响牧草饲用价值的因素很多,受时间、地点、生长年限、栽培管理等因素的影响,不同牧草对于不同家畜的饲用价值还有待于进一步深入研究,本试验仅是一种综合评判模型在牧草上的应用示例。

3) 在实际生产中,牧草的产量、再生性、干物质含量等对牧草栽培利用价值的综合评判亦有很大影响。若能在本试验基础上综合考虑以上因素,则试验结果更具现实意义,可以更好地指导我国牧草生产的发展。

[参考文献]

- [1] 卢欣石,申玉龙,梁小娜,等. AHP模型对苜蓿农艺性状的综合评定与应用[J]. 中国草地, 1992, (2): 69- 73
- [2] 张喜军,潘伟,祝廷成. 牧草饲用价值综合评价的数学模型[J]. 中国草地, 1991, (6): 63- 67.
- [3] 韩永芬,赵明坤,李小芳. 不同处理串叶松香草的适口性及其饲用价值比较[J]. 中国草地, 2002, (1): 38- 40
- [4] 袁国弼. 聚合草和串叶松香草饲用价值的比较[J]. 青饲料, 1986, (1): 41.
- [5] 廖云化,朱小彤. 串叶松香草的饲用价值[J]. 贵州农业科学, 1994, (6): 50- 51.
- [6] 韩建国,贾慎修. 放牧绵羊采食量及消化率的研究[J]. 草原牧业杂志, 4(4): 35- 37.
- [7] 蔡锁章,李有文. 数学建模: 原理与方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2000. 234- 244
- [8] 姜后源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 132- 148

Research on applying AHP model to the evaluation on feeding value of forage

LONG Ming-xiu, XING Zhi-he

(College of Animal Science and technology, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: AHP model is used in this essay to evaluate the feeding value of four types of forage (*Symphytum peregrinum* Ledeb; *Rumex K-1*; *Silpium perfoliatum* L.; *Lactuca indicia* L.) concerning many factors. The results show that the feeding value of forage is mainly affected by their chemical composition, edibility and digest rate. Generally, the more crude protein in it, the better of its feeding value, the crude protein plays important role in the feeding value. The value of above four forages is lined as this sequence: *Symphytum peregrinum* Ledeb; *Rumex K-1*; *Silpium perfoliatum* L.; *Lactuca indicia* L. from high to low.

Key words: AHP model; forage; feeding value; comprehensive evaluation