

多年生黑麦草抗旱性主成分及隶属函数分析

石永红¹, 万里强², 刘建宁¹, 王运琦¹, 郭锐¹, 吴欣明¹, 李向林^{2*}

(1. 山西省农科院畜牧兽医研究所, 山西 太原 030032; 2. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193)

摘要: 在日光温室 PEG-6000 模拟干旱胁迫条件下, 通过测定 6 个多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.) 品种的相对含水量(RWS)、细胞质外渗率(RPP)、游离脯氨酸(Pro)、叶绿素(Chl)、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量等 7 个理化指标, 利用主成分及隶属函数分析法对其抗旱性进行综合评价。结果表明: 7 个差异显著的抗旱指标应用主成分分析归纳成 3 个主成分, 通过综合隶属函数值评定的抗旱性强弱顺序为: 欧必克> 多福> 努依> 卓越> 凤凰> 雅晴。

关键词: 多年生黑麦草; 抗旱性; 主成分分析; 隶属函数分析
中图分类号: S543. 6; Q945. 78 文献标识码: A 文章编号: 1007-0435(2010) 05-0669-04

Analysis of the Principal Components and the Subordinate Function of *Lolium perenne* Drought Resistance

SHI Yong-hong¹, WAN Li-qiang², LIU Jian-ning¹, WANG Yun-qi¹, GUO Rui¹, WU Xin-ming¹, LI Xiang-lin^{2*}

(1. Animal Husbandry and Veterinary Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi Province 030032, China; 2. Institute of animal Science, CAAS, Beijing 100193, China)

Abstract: The drought resistance of six *Lolium perenne* fodder varieties at the seedling stage was studied by using PEG-6000 solution to simulate drought stress in the green house. The physiological and biochemical indexes such as relative water content (RWC), exosmosis rate of cytoplasm(RPP), proline content (Pro), chlorophyll contents(Chl), content of malondialdehyde(MDA), activities of superoxide dismutase (SOD) and CAT were measured. Drought resistance was evaluated by principal components analysis and subordinate function analysis. Results show that the seven significantly different drought resistance indexes could be classified into 3 component parts. The capacity of drought resistance of the six *Lolium perenne* fodder varieties is gauged as follows: Oupec> Tove> Nul> Eminent> Polim> Yatsyn.

Key words: *Lolium perenne*; Drought resistance; Principal components analysis; Subordinate function analysis

多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.), 是在我国广为应用的一种冷季型牧草, 其分蘖能力强, 早期生长快, 品质优良, 适应土壤范围广, 常作为建植草地的先锋草种。但由于其喜温暖湿润的环境, 抗旱性差, 因此筛选优良的抗旱品种尤为必要。草种抗旱性的研究已有许多报道, 但主要集中在草坪草^[1~8]、苜蓿^[9~11]、和其他牧草^[12~14] 方面。多年生黑麦草的抗旱性大多是与其他草种, 如羊茅(*Festuca ovina* L.)、草地早熟禾(*Poa pratensis* L.) 等进行比较研究的, 主要研究了干旱胁迫对细胞膜透性、叶片相对含水量、叶绿素含量、游离脯氨酸含量、相对增长率、叶片质地和根冠比等指标的影响^[1~3]。有关多年生黑麦草不同品种间抗旱性比较研究主要针对和抗性有关的形态及生理指标^[4,5]。抗旱性是一个受多基

因控制的复杂性状, 不同抗性品种抗旱机制不同, 利用单项指标鉴定黑麦草的抗旱性局限性较大, 且各指标间有一定的相关性, 单一指标有时无法准确地反映植物的实际抗旱能力^[15,16]。主成分分析与因子分析法可以在不损失或很少损失原有信息的前提下, 将众多的指标转换成新的、个数较少且彼此独立的因子。结合隶属函数法, 可得到各品种抗旱性的综合评价价值, 从而能比较科学地对植物的抗旱性进行评价^[9,10]。为此, 本研究在测定多项生理指标基础上, 利用主成分分析法, 结合隶属函数对 6 个多年生黑麦草牧草品种苗期的抗旱性进行了综合评价, 比较其抗旱性差异, 以期筛选抗旱的多年生黑麦草牧草品种提供理论依据。

收稿日期: 2009-10-20; 修回日期: 2010-09-19
基金项目: 基本科研业务费专项研究基金(2010je-62); 国家科技支撑计划(2006BAD16B07) (2007BAD56B02); “948”项目(2006-G38); 山西省农科院博士基金(YBSJJ0704) 资助
作者简介: 石永红(1972-), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 主要从事草地资源管理与草地生态研究, E-mail: shiyh007@126.com; * 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lixl@iascaas.net.cn

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验材料为 6 个多年生黑麦草品种: 雅晴(Yatsyn) 和欧必克(Oupec) 由百绿集团提供; 努依(Nul) 由北京中种草业有限公司提供; 卓越(Eminent) 由北京克劳沃草业技术开发中心提供; 多福(Tove) 和凤凰(Polim) 由北京绿冠草业提供。

1.2 试验方法

用不同浓度(0%, 5%, 10%, 15%, 20% 和 25%) PEG-6000(w/v) (用 1/2 Hoagland 培养液配制) 溶液处理多年生黑麦草幼苗, 在室内模拟不同干旱程度, 其中, 第 1 个处理作为对照; 每处理设 3 次重复。

种植前先将草种用自来水浸泡 48 h, 从中选择饱满萌动种子, 控干水分并与细沙拌匀, 再将其均匀撒播于塑料花盆(直径 20 cm、高 40 cm 装有经高温消毒的蛭石) 表面, 并覆盖 0. 5 cm 厚蛭石, 用手轻轻压实后浇 1/2 Hoagland 培养液, 出苗前覆塑料薄膜。苗齐后间苗, 2~ 3 个真叶时定株, 每盆留生长均匀、分布均匀的幼苗 20 株。待幼苗生长到 3~ 4 个真叶时, 用 250 mL 不同浓度 PEG-6000 溶液浇灌, 进行为期 72 h 的模拟干旱胁迫处理。每处理早晚各浇灌 1 次。处理 3 d 后, 从植株上剪取中部叶片进行各项生理指标测定。

1.3 测定指标及方法

采用称重法^[17] 测定叶片相对含水量(RWC); 采用电导仪法^[18] 测定叶片细胞膜透性(RPP); 茚三酮比色法^[19] 测定游离脯氨酸(Pro) 含量; 丙酮浸提法^[18] 测定叶绿素(Chl) 含量; NBT 光还原法^[19] 测定超氧化物歧化酶(SOD) 活性; 碘量法^[19] 测定过氧化氢酶(CAT) 活性; 硫代巴比妥酸法^[19] 测定丙二醛(MDA) 含量。

1.4 数据处理及评价方法

利用 SPSS 13. 0 软件进行主成分分析。参照张朝阳^[20] 和周广生等^[21] 的方法, 采用隶属函数法对 6 个品种的抗旱性进行综合评价。

1.4.1 抗旱系数 根据所测得的各项理化指标数据, 分别计算对照和用不同 PEG 浓度处理下各指标值的平均值。然后用公式(1) 将原始数据进行转换, 求得各理化指标性状的抗旱系数, 并进行相关分析, 得出各理化性状的相关系数矩阵。

抗旱系数(a)= 处理测定值 / 对照测定值 × 100% (1)

1.4.2 隶属函数值

U(Xi) = (Xi - Xmin) / (Xmax - Xmin) i= 1, 2, 3, ..., n (2)

式中, Xi 为指标测定值; Xmin 和 Xmax 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

1.4.3 权重

wi = Pi / ∑Pi i= 1, 2, 3, ..., n (3)

式中, wi 表示第 i 个公因子在所有公因子中的主要程度, Pi 为各品种第 i 个指标与抗旱系数间的相关系数, 表示了各品种第 i 个公因子的贡献率。

1.4.4 综合评价值

D = ∑(ni / n) [U(xi) × wi] i= 1, 2, ..., n (4)

式中, D 值为材料在干旱胁迫下用综合指标评价所得的抗旱性综合评价值。

2 结果与分析

2.1 7 个理化指标的公因子分析

各多年生黑麦草品种在干旱胁迫处理后, 与对照(正常供水) 相比, 植株的形态特征均发生一系列的变化。用公式(1) 求得各理化指标性状的抗旱系数见表 1。

表 1 6 个多年生黑麦草品种生理生化指标的抗旱系数

Table 1 Drought-resistant coefficients (%) of physiological and biochemical indexes of six *Lolium perenne* varieties

品种名称 Varieties	RWC	RPP	Pro	Chl	SOD	CAT	MDA
努依 Nul	94. 90	123. 84	327. 75	74. 17	200. 93	86. 45	126. 10
欧必克 Oupec	91. 70	126. 14	412. 11	87. 93	125. 72	90. 80	139. 82
多福 Tove	88. 01	132. 37	411. 07	76. 38	126. 51	90. 42	131. 85
雅晴 Yatsyn	92. 46	146. 10	257. 60	85. 41	114. 41	91. 40	114. 14
凤凰 Polim	95. 06	119. 86	250. 60	68. 85	149. 58	85. 52	150. 62
卓越 Eminent	93. 59	137. 21	235. 47	63. 87	189. 30	87. 93	137. 59

对 6 个多年生黑麦草品种的 7 个生理指标的抗旱系数进行相关分析^[20~ 22], 得到各理化指标的相关

系数矩阵(表 2)。从表 2 可以看出, 6 个品种的 7 项理化指标之间都存在着不同程度相关性。

表 2 各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlative coefficient matrix of 7 physiological and biochemical indexes

指标 Index es	RWC	RPP	Pro	Chl	SOD	CAT	MDA
RWC	1. 000						
RPP	− 0. 330	1. 000					
Pro	− 0. 690	− 0. 275	1. 000				
Chl	− 0. 391	0. 227	0. 548	1. 000			
SOD	0. 612	− 0. 324	− 0. 344	− 0. 714	1. 000		
CAT	− 0. 742	0. 669	0. 453	0. 761	− 0. 743	1. 000	
MDA	0. 206	− 0. 724	0. 009	− 0. 457	0. 156	− 0. 537	1. 000

对 7 个理化指标的抗旱系数进行因子分析(表 3), 按照累计贡献率大于 80% 的原则^[23], 保留前 3 项综合指标, 贡献率分别为 0. 545, 0. 244 和 0. 098, 累积贡献率达 88. 70%, 其余可忽略不计。从各综合指标系数大小可以看出, 第 1 主成分主要包括 RWC, Pro 和 CAT; 第 2 主成分主要包括 RPP 和 MDA; 第 3 主成分主要包括 Chl。这样, 原来 7 个单项指标转换为 3 个新的相互独立的综合指标, 这 3 个综合指标代表了原来 7 个单项指标 88. 70% 的信息。根据贡献率大小可知各综合指标的相对重要性。

表 3 各综合指标的系数及贡献率

Table 3 Coefficients of comprehensive indexes (CI(x)) and their proportions (P)

主成分 Principal component	系数(CI(x)) Coefficients of comprehensive indexes							贡献率, P Contribution rate
	RWC	RPP	Pro	Chl	SOD	CAT	MDA	
1	− 0. 938	0. 125	0. 891	0. 546	− 0. 553	0. 720	− 0. 173	0. 545
2	0. 389	− 0. 960	0. 106	− 0. 400	0. 360	− 0. 735	0. 875	0. 244
3	− 0. 190	− 0. 102	0. 640	0. 890	− 0. 384	0. 461	− 0. 398	0. 098

根据各综合指标的指标系数及各单项指标的抗旱系数, 求出每个品种的 3 个综合指标(即公因子) 得分值(表 4)。

表 4 6 个黑麦草品种的公因子得分值 C(x)、隶属函数 U(x) 和综合评价 D

Table 4 The valaes of component scores C(x), subordinative function U(x) and comprehensive evaluation D of six *Lolium perenne* varieties

品种 Varieties	C(1)	C(2)	C(3)	U(1)	U(2)	U(3)	D
努依 Nul	− 1. 789	2. 865	1. 951	0. 199	1. 000	0. 982	0. 506
欧必克 Oupec	5. 581	− 1. 631	2. 035	1. 000	0. 314	1. 000	0. 811
多福 Tove	0. 985	0. 967	− 1. 419	0. 500	0. 710	0. 278	0. 534
雅晴 Yatsyn	− 3. 619	0. 632	− 2. 750	0. 000	0. 659	0. 000	0. 181
凤凰 Polim	− 2. 119	0. 858	− 0. 924	0. 163	0. 694	0. 382	0. 333
卓越 Eminent	0. 960	− 3. 691	1. 108	0. 498	0. 000	0. 806	0. 395
贡献率 Contribution rate	0. 545	0. 244	0. 098				
权重 Weights				0. 614	0. 275	0. 111	

2.2 隶属函数分析和权重的确定

根据因子得分值, 由公式(2) 分别计算出 6 个品种所有因子的隶属函数值 $U(x)$ (表 4), 再根据各因子贡献率大小(分别为 54. 5%, 24. 4% 和 9. 8%), 由公式(3) 计算出各因子的权重。经计算, 3 个公因子的权重分别为 0. 614, 0. 275, 0. 111(表 4)。

2.3 综合评价值的确定

抗旱性综合评价值(D) 大小反映各品种综合抗旱能力大小, 值越大表明越抗旱。利用公式(4) 计算出 6 个品种 D 值大小(表 4) 分别为: 努依(0. 506), 欧必克(0. 811), 多福(0. 534), 雅晴(0. 181), 凤凰(0. 333), 卓越(0. 395)。从这个综合评价指标可以看出, 6 个品种抗旱性大小顺序为: 欧必克> 多福> 努依> 卓越> 凤凰> 雅晴。

3 讨论

干旱胁迫下, 植物体的生理生化过程发生不同程度变化, 相对含水量、细胞质外渗率、MDA 含量、SOD 活性、CAT 活性、脯氨酸及叶绿素含量等一些与抗旱性关系密切的指标可作为抗旱性鉴定指标^[15]。

抗旱性是一个受多因素影响、复杂的数量性状^[15], 不同黑麦草品种对某一单项理化指标的抗旱性反应不一定相同。因此, 用单一指标难以全面准确地反映各品种抗旱性强弱, 必须运用多个指标进行综合评价^[16]。利用隶属函数分析可以对材料进行综合评价, 将它应用于黑麦草抗旱品种筛选更具科学性和可靠性^[16]。目前, 用隶属函数法对作物的抗逆性进行综合评价的研究较多^[9, 10, 20~ 22, 24~ 26]。评

价植物抗逆性的指标较多,指标间又存在着一定的相关性,使得它们所提供的植物对逆境反映的信息发生交叉与重叠,且各指标在综合评价时的重要性(权重)也不同。如果直接利用这些指标来综合评价植物的抗逆性则会对结果造成偏差。因此仅用隶属函数法对植物抗逆性进行综合评价也存在一定局限性。由于相对含水量、细胞质外渗率、MDA 含量、SOD 活性、CAT 活性、脯氨酸及叶绿素含量等指标不但有单方面作用,还有多个指标间的相互作用,只有对这些指标的交互作用加以深入综合分析,才能提高抗旱鉴定的准确性,提高引种时筛选抗旱品种的可靠性^[22,24]。利用主成分分析法可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来多个且彼此相关的指标转换成新的、个数较少且彼此独立的综合指标,同时根据各自贡献率大小可以知道各综合指标的相对重要性。在此基础上,求出所有品种的每一个综合指标值及相应的隶属函数值后,依据各综合指标的相对重要性进行加权,便可得到各个品种抗逆性的综合评价值,可以较为科学地对各品种的抗旱性进行评价^[16]。

本文通过测定 6 个多年生黑麦草品种不同干旱胁迫下的相应指标,并以抗旱系数作为衡量黑麦草单项抗旱能力大小的指标,利用模糊数学的隶属函数法,结合主成分分析对其抗旱性进行了综合评价,消除了个别指标带来的片面性,使各品种间抗旱性的差异具有可比性。而且主成分分析法利用了各指标间内在的联系,克服了信息的重叠与指标的相关性^[10],将原来的 7 个单项生理指标综合成为 3 个相互独立的综合指标 CI(1),CI(2),CI(3)。同时,主成分分析可以利用数据本身的大小得到各综合指标的权重,从而避免了人为确定权重的主观性。这样,既考虑了各指标间的相互关系,又考虑到各指标的重要性,二者相结合可使黑麦草抗旱性的综合评价更客观更合理,使得出的结论与实际较为接近。

隶属函数分析给我们提供了一条在多指标测定基础上对材料特性进行综合评价的途径,可以克服只利用少数指标进行评价的不足,但在多年生黑麦草生长发育的整个过程中,不同品种抗旱机制可能也会不同。所以,进行综合评价时,可以充分利用多个指标,以揭示不同植物或同种植物不同品种间对水分反应特性的实质,从而提高抗旱性鉴定的准确性。

4 结论

采用模糊隶属函数法结合主成分分析对不同多年生黑麦草品种苗期抗旱性进行了综合评价,避免了单一指标的片面性,快速合理。运用主成分分析方法可将相对含水量、细胞质外渗率、MDA 含量、

SOD 活性、CAT 活性、脯氨酸及叶绿素含量等 7 个抗旱理化指标归纳成 3 个主成分,通过隶属函数法和相关分析,得出 6 个品种的抗旱性大小顺序为:欧必克>多福>努依>卓越>凤凰>雅晴。这一结果对不同地区建植草地选择抗旱的多年生黑麦草品种具有一定指导意义。

参考文献

- [1] 孙彦,杨青川,张英华.不同草坪草种及品种苗期抗旱性比较[J].草地学报,2001,9(1):16-20
- [2] 马智宏,李征,王北洪,等.冷季型草坪草抗旱及耐寒性比较[J].草地学报,2002,10(4):318-321
- [3] 李艳秋,尹伟伦,夏新莉.干旱胁迫下四种冷季型草坪草的生理反应[J].草地学报,2007,15(2):164-167
- [4] 石永红,万里强,刘建宁,等.干旱胁迫对 6 个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响[J].草地学报,2009,17(1):52-57
- [5] 万里强,石永红,李向林,等.PEG 胁迫下 3 个多年生黑麦草品种抗性生理研究[J].草地学报,2009,17(4):440-444
- [6] 谢晓蓉,李唯,刘金荣,等.21 个高羊茅品种抗旱抗热性的生理评价[J].草地学报,2009,17(2):202-205
- [7] Huang B R, Gao H W. Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress[J]. Hort Science, 1999, 34(5): 897-901
- [8] Abraham E M, Huang B R, Bonos S A, et al. Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids[J]. Crop Science, 2004, 44: 1746-1753
- [9] 魏永胜,梁宗锁,山仑,等.利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J].草业科学,2005,22(6):33-36
- [10] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J].草地学报,2006,14(2):142-146
- [11] 李源,刘贵波,高洪文,等.紫花苜蓿种质苗期抗旱性综合评价研究[J].草地学报,2009,17(6):807-812
- [12] 祁娟,徐柱,王海清,等.披碱草与老芒麦苗期抗旱性综合评价[J].草地学报,2009,17(1):36-42
- [13] 梁国玲,周青平,颜红波,等.羊茅属 4 种牧草苗期抗旱性鉴定[J].草地学报,2009,17(2):206-212
- [14] 王怡丹,郭晓宇,全炳武.水分胁迫下蒙古冰草、扁穗冰草和滨麦抗旱性研究[J].延边大学农学报,2008,30(2):98-104
- [15] 刘琴,孙辉,何道文.干旱和高温对植物胁迫效应的研究进展[J].西华师范大学学报(自然科学版),2005,26(4):364-369
- [16] 龚明.作物抗旱性鉴定方法与指标的综合评价[J].云南农业大学学报,1989,(10):73-81
- [17] 华东师范大学生物系植物生理教研组.植物组织含水量测定,植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,1980.2-5
- [18] 高峰凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版社,2000.1-26
- [19] 上海植生所.现代植物生理实验指南[M].北京:中国科技出版社,1998.128-145
- [20] 张朝阳,许桂芳.利用隶属函数法对 4 种地被植物的耐热性综合评价[J].草业科学,2009,26(2):57-60
- [21] 周广生,梅方竹,周竹青,等.小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J].中国农业科学,2003,36(11):1378-1382
- [22] 许桂芳,张朝阳,向佐湘.利用隶属函数法对 4 种珍珠菜属过路黄抗旱性的综合评价[J].浙江农业学报,2009,21(1):59-62
- [23] 贺仲雄.模糊数学及其应用[M].天津:天津科学技术出版社,1985.67-70
- [24] 席万鹏,王有科,孙飞达.利用隶属函数值法综合评价花椒的抗旱性[J].甘肃林业科技,2004,29(1):5-6
- [25] 陈荣敏,杨学举,梁凤山,等.利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J].河北农业大学学报,2002,25(2):7-9
- [26] 何雪银,文仁来,吴翠琴,等.模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J].西南农业学报,2008,21(1):52-56
- [27] 魏秀俭.玉米自交系耐旱性的模糊隶属函数法分析[J].山东农业科学,2005(2):25-27

(责任编辑 蔚 瑛)