

草原沙漠化过程中土壤因素分析及其植物的生理响应

朱志梅^{1,2}, 杨 持^{1,*}, 曹明明², 刘 康², 杨联安²

(1. 内蒙古大学生命科学学院 生态与环境科学系, 内蒙古 呼和浩特 010021 2. 西北大学环境科学系, 陕西 西安 710069)

摘要 基于 2001~2003 年内蒙古锡林郭勒盟多伦县草原沙漠化过程中土壤因子 (5 个指标) 与不同耐胁迫类型植物的生理响应 (7 个指标) 的相关分析, 得到的结果是: ①羊草 (敏感型) 各生理指标与土壤含水量及土壤 C/N 比的相关水平较高 ($P < 0.01$), 其中以 MDA 和 ABA 与土壤因子的相关性较高 ($P < 0.01$)。②糙隐子草和冷蒿 (积极忍耐型) MDA 只与土壤 C/N 比关系均极显著相关 ($P < 0.01$), 同时 ABA 与反映土壤的 5 个指标的关系亦极显著相关 ($P < 0.01$)。③扁蓿豆 (迟钝型) 对土壤物理性质的敏感性要高于土壤的化学性质, 土壤营养元素的衰减并没有成为制约其生长发育的主导因子。另外在扁蓿豆的 7 个生理指标中 MDA 与土壤的相关性最高 ($P < 0.01$), 而 ABA 与土壤因子均不相关 ($P > 0.05$)。④综合植物生理指标与土壤因子的相关分析, 多数植物的 MDA 和 ABA 在沙漠化胁迫环境下反应较强。⑤不同类型植物在沙漠化过程中对土壤因子的响应机制不同, 其中敏感型对土壤水分、C/N 比响应较强, 而积极忍耐型对土壤反应的主导因素不突出, 总体上土壤因子中 C/N 比与植物的生理响应关系密切。

关键词 沙漠化, 生理响应, 耐胁迫类型, 土壤因子, 草原

文章编号: 1000-0933 (2007) 01-0048-10 中图分类号: Q142, Q948.11, S812 文献标识码: A

Analysis on the soil factor and physiological response of the plants in the process of sandy desertification on grassland

Zhu Zhimei^{1,2}, Yang Chi^{1,*}, Cao Mingming², Liu Kang², Yang Lianan²

1 Ecology and Environment Science Department of life Science College Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China

2 Environment Science Department of Northwest University, Xi'an 710069, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (1) 0048 ~ 0057.

Abstract : The study on the relationship between soil factor and physiological response of the plants is very important for understanding ecosystem damaged mechanism from sandy desertification and improving efficiency of fathering sandy desertification. However, little is studied or made known about what are the key soil factors for different plant and the effect of degradation level on the interactions between soil factors and physiological response of the plants under natural environment on sandy grassland. The aim of the present study is to find the relationship between the soil factor and physiological response of the plants under different desertification stage and the practical measure to fathering desertification on grassland. Three-year's research work is from 2001 to 2003 in DUOLUN County, Xilin Gol, Inner Mongolia. A series of

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G2000048704) 陕西省自然科学基金资助项目 (2006Z05) 西北大学科学研究基金资助项目 (04NW60)

收稿日期: 2006-02-28; 修订日期: 2006-12-10

作者简介: 朱志梅 (1972 ~), 女, 内蒙古包头市人, 博士, 主要从事植物生态学研究. E-mail: zhzhmx@126.com

* 通讯联系人 Corresponding author, E-mail: Yangchi@mail.imu.edu.cn

致谢: 本研究得到中国科学院植物研究所多伦恢复生态学试验示范研究站和多伦县草原工作站的大力支持, 特此致谢!

Foundation item : The project was financially supported by the National 973 Project (No. G2000048704), Natural Science Foundation of Shaanxi Province (No. 2006Z05) and Scientific Research Foundation of Northwest University (No. 04NW60)

Received date 2006-02-28; **Accepted date** 2006-12-10

Biography Zhu Zhimei, Ph. D., mainly engaged in plant ecology. E-mail: zhzhmx@126.com

degradation gradient or stage is established by clustering analysis ,and become I ,II , III ,IV and V stage corresponding to original vegetation (OV) , potential desertification (PD) , light desertification (LD) , moderate desertification (MD)and heavy desertification (HD) , as well as corresponding to five community types of *L. chinensis* + *Stipa kryovii* + bunch grass ,*C. squarrosa* + *Agrostis cristatum* ,*A. frigida* + *A. cristatum* + *C. squarrosa* + weed ,*A. intramongolica* + weed and annual plant. Five community types were selected as the sampling sites. Choosing four common plant population (i. e. *Leymus chinensis* , *Cleistogenes squarrosa* , *Artemisia frigida* and *Melilotoides ruthenica*) is to be provided with comparative significance because their different physiological response to sandy desertification. The correlation analysis was done between the soil factor (5 soil indexes)and the physiological response of per plant population (7 physiological indexes). The results showed as follows : (1)In the course of the grassland sandy desertification , *L. chinensis* being a impressible type among four common plant population , its physiological response had very significant correlations with the soil moisture and C/N in soil than other soil indexes ($P < 0.01$)relatively. According to this , it was proved that the soil moisture and C/N in soil were the key factors to result in the damage on the physiological level of *L. chinensis*. Both its MDA and ABA had more significant correlations than other physiological indexes with five soil indexes as a whole ($P < 0.01$). Therefore , it is possible that ABA is important factor on damage. It may arouse the membrane lipid peroxidatic reaction. (2)*C. squarrosa* and *A. frigida* being a resistant type , only the C/N of soil among 5 soil indexes relation with both MDA was consistent. And that their correlations were very significant ($P < 0.01$). Both ABA relations with 5 soil indexes were consistent. Similarly , their correlations were very significant ($P < 0.01$). The C/N in soil significantly influenced physiological level of *A. frigida*. Furthermore the content of total N in soil , the soil moisture and content of clay in the soil were important to *A. frigida*. (3)*M. ruthenica* being a retarded type , it was more sensitive to the soil physics character (the soil moisture and content of clay in the soil) than the soil chemistry character (the content of C , total N and the C/N in soil) , suggesting that degradation of the soil nutritious elementary was not the leading factor of holding back its growth . Its MDA showed most significant correlation ($P < 0.01$) than other physiological indexes with five soil indexes as a whole , but its ABA did not show significant correlation with each of 5 soil indexes ($P > 0.05$). (4)The result of synthesizing the correlation analysis among the plants of various type showed that MDA and ABA in the plants responded intensively to the stress of desertification environment. (5)For each of the stress resistant types , there were differences in the response mechanism to the soil factor under different desertification stage on sandy grassland. The impressible type responded intensively to the soil moisture and C/N in soil. The response of the resistant type to the soil factor did not show becoming dominant factor. Altogether , the physiological response of the plants among four common populations had almost significant correlation with the C/N in soil.

Key Words : sandy desertification ; physiological response ; stress resistant type ; soil factor ; grassland steppe

多伦县地处我国北方半干旱区农牧交错带。沙漠化土地面积的扩大 ,对人民的生产生活和社会经济的发展造成了严重的危害。近年来 ,农牧交错带受到各方面的普遍关注 ,从国家社会经济发展和生态环境建设的角度讲有两点原因 ,一是该区是我国最贫困的地区之一 ;二是该区是我国沙漠化最严重的地区 ,具有典型的生态脆弱性^[1]。多伦县是内蒙古距北京最近的旗县 ,也是我国北方沙尘暴源头之一 ,因此治理沙漠化对保障首都圈生态环境都有重要意义。恢复与重建受损植被、土壤是沙漠化治理的实质 ,是农牧交错带实现可持续发展的基本保障。沙漠化土地恢复和重建的效率与植物种的选择及其配置方式、土壤因素有直接关系^[2]。以往人们对沙漠化过程中土壤与植物的关系研究多集中在群落、种群、个体水平上^[3~7] ,针对草原沙漠化受损机理的研究不多见^[8~11] ,较少涉及自然状态下植物生长期土壤因素与植物生理生化相关变化。

植物对环境因子可以做出一系列不同尺度上的响应 ,其中较为直观、明显的群落、种群、个体、形态上的变化必须通过植物体内复杂的生理过程得以实现。环境胁迫下 ,植物通过调整生理反应 ,补偿它生长所需的营

养亏缺,才能维持持续生长。植物的生理反应和适应性也许是短期的,应激性的,但却深度地反映出响应机制。草原沙漠化过程中,土壤是重要的环境演变因子,本文通过植物调节生理过程以适应土壤环境因子的机制研究,旨在找到适合于不同类型植物最实际的草原沙漠化治理措施,为受损生态系统得以恢复和重建提供科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区设于内蒙古多伦县,该县位于内蒙古锡林郭勒盟东南部,东经 115°51'~116°54',北纬 41°46'~42°36',海拔 1150~1800m。区内气候属季风区,湿润度 0.54,年均温 1.6℃,气温年较差 36.8℃,日较差 14.1℃,平均无霜期 100d。年均降水量 385.5mm,夏季雨量集中,占年降水量的 67.0%。年蒸发量是年降水量的 4.5 倍。年均风速 3.6m/s,大风日数 67.3d,多在春季。该县处于内蒙古高原南部,阴山山脉北坡,浑善达克沙地南缘,东部与大兴安岭余脉衔接。由于受地形的影响,地貌类型较复杂,可分为低山丘陵、丘陵、河谷洼地及沟谷洼地、山前倾斜平原及高平台和堆积类型沙丘 5 类。县境土壤地带性属栗钙土,主要土壤类型所占面积由高到低依次为栗钙土 70.1%,风沙土 16.6%,草甸土 6.95%,黑钙土 3.38%。植被为中温型草原植被带,属半干旱向半湿润过渡地带,主要分为典型草原、森林草原、草甸草原、沙丘沙地等植被类型。研究在选择沙漠化梯度上进行。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的选择

依据 1985 年草原普查在多伦县境内的部点,2001 年 8 月用 GPS 重新寻找到其中的 35 个样地,每个样地随机取 3 个 1×1m²样方做生态学调查,2002 年和 2003 年的 8 月分别在县境内沙质草原地带选取有明显沙漠化梯度的样地 12 个,每个样地随机取 3 个 1×1m²样方做生态学调查。在对 3a 取得的群落、种群和土壤数据进行聚类分析的基础上对多伦县境内的沙质草原划分为Ⅰ(OV)、Ⅱ(PD)、Ⅲ(LD)、Ⅳ(MD)、Ⅴ(HD)阶段(表 1)。

表 1 沙质草原沙漠化过程中不同阶段群落类型

Table 1 Community types of different desertification stages of sandy grassland during desertification process		
沙漠化阶段 Desertification stage	群落类型 Community type	建群种 Constructive species
原生植被 Original vegetation (OV)	羊草 + 克氏针茅 + 丛生禾草 <i>L. chinensis</i> + <i>Stipa kryovii</i> + bunch grass	羊草 <i>Leymus chinensis</i>
潜在沙漠化 Potential desertification (PD)	糙隐子草 + 冰草 <i>C. squarrosa</i> + <i>Agrostis cristatum</i>	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>
轻度沙漠化 Light desertification (LD)	冷蒿 + 冰草 + 糙隐子草 <i>A. frigida</i> + <i>A. cristatum</i> + <i>C. squarrosa</i>	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>
中度沙漠化 Moderate desertification (MD)	沙蒿 + 杂类草 <i>A. intramongolica</i> + weed	沙蒿 <i>Artemisia intramongolica</i>
重度沙漠化 Heavy desertification (HD)	1 年生植物 Annual plant	藜 <i>Chenopodium album</i>

1.2.2 取样方法

(1)植物 在 5 种类型样地中选取共有种群羊草 (*Leymus chinensis*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)和扁蓿豆 (*Melilotoides ruthenica*) 随机采集新鲜植物叶片(中部),分种混合,一部分液氮固定,回实验室后转入 -80℃ 冰箱,用于测试酶和脱落酸含量,一部分用于测试鲜重、叶绿素和膜透性,其余样品 105℃ 杀青 1h,然后 65℃ 烘干 24 h,用于测试叶片含水量和脯氨酸。V 梯度植物样量较少,故一些指标只能测试 4 个梯度(表 2)。

(2)土壤 2001 年 8 月,分别在每个样地取一个土壤剖面,分 0~5cm、5~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~50 cm 五层,土壤盒和环刀取土,用于测试土壤含水量及颗粒分析,每一样地用土钻分别取 0~10 cm、10~20 cm 的土样 3 次,用于测试土壤 C、N 含量。2002 年和 2003 年的 8 月,分别在每一样地分别取一个土壤剖面 0~20 cm(因 2001 年测定的 20 cm 以下土壤指标变化不明显,故判断土壤的变化主要集中在 0~20 cm),其余操作同 2001 年。

(接朱志梅卧表)

1.2.3 测定方法

植物叶片含水量、细胞质膜相对透性 (EC)、脯氨酸含量 (PRO)、丙二醛含量 (MDA)、保护酶 (超氧化物歧化酶 SOD、过氧化物酶 POD、过氧化氢酶 CAT) 和脱落酸含量 (ABA) 的测定见文献^[12]。

土壤含水量 (SM) 的测定 烘干称重法。

土壤有机 C 含量 (S. C) 的测定 土样经过 0.3mm 筛分处理, 采用 K₂Cr₂O₇ 容量法^[13]测定。

土壤全 N 含量 (S. N) 的测定 土样经过 0.3mm 筛分处理, 采用凯氏定氮法^[13]测定。

土壤颗粒分析 采用吸管法 (筛分与静水沉降相结合)^[14]。应用笃克斯 (Stokes) 定律, 将不同粒级的土粒分离并计算其百分含量, 其中粘粒 (S. Clay) 为粒径 <0.01mm。

以上指标均重复测定 3 次。

1.2.4 数据处理

综合 2001 ~ 2003 年的测试数据, 进行 Bivariate Correlations 相关分析和 ANOVA 方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同沙漠化阶段土壤因子的变化与植物的生理响应

随着草原沙漠化的进展, 植物的生理响应与土壤因子的变化如表 2 和表 3 所示。

表 3 不同沙漠化阶段土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 比的变化 (平均值 ± 标准差)

Table 3 The soil moisture and the content of clay, C, N, C/N in soil under different desertification stage (mean ± SD)					
沙漠化阶段 Desertification stage	土壤含水量 Soil moisture (SM)	土壤粘粒含量 The content of clay (S. Clay) (<0.01mm)	土壤有机 C 含量 The content of organic Carbon in soil (S. C)	土壤全 N 含量 The content of total Nitrogen in soil (S. N)	土壤 C、N 比 C/N in soil (S. C/N)
II	24.84 ± 3.96	12.53 ± 6.76	1.33 ± 0.82	0.16 ± 0.06	8.11
III	15.13 ± 2.68	4.86 ± 3.82	1.07 ± 0.58	0.08 ± 0.03	13.96
IV	10.86 ± 1.83	2.49 ± 2.35	0.82 ± 0.48	0.07 ± 0.04	12.36
V	4.28 ± 0.01	2.19 ± 1.32	0.29 ± 0.14	0.03 ± 0.02	28.17

2.2 植物质膜相对透性与土壤因子的相关分析

羊草叶片的质膜相对透性与土壤含水量呈显著负相关 ($P < 0.05$) (表 4), 与土壤 C/N 比和土壤有机 C 呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 与土壤粘粒、全 N 含量也有负相关性, 但关系不密切 ($P > 0.05$), 说明土壤有机 C 的衰减和土壤 C/N 比是影响羊草细胞膜受损的关键因子。糙隐子草叶片的质膜相对透性仅仅与土壤粘粒、有机 C 含量呈显著正相关, 与土壤含水量、土壤 C/N 比、全 N 含量也有正相关性, 但关系不紧密 ($P > 0.05$), 说明它的质膜相对透性主要受土壤粘粒和有机 C 的影响, 随着土壤粘粒、有机 C 含量的减少, 糙隐子草膜相对透性降低, 细胞膜的受损情形与羊草截然不同。冷蒿叶片的质膜相对透性与土壤 C/N 比呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与土壤含水量显著负相关 ($P < 0.05$), 与土壤全 N 含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 而与土壤粘粒、有机 C 含量的负相关关系, 没有达到显著水平 ($P > 0.05$), 说明土壤 C/N 比、全 N 含量对膜透性影响大, 随着土壤 N 的衰减、C/N 比的增加, 冷蒿膜透性增大。扁蓿豆叶片的质膜相对透性与土壤因子的相关性和冷蒿有相同点, 不同的是土壤粘粒、有机 C 与其膜透性的相关性极显著 ($P < 0.01$), 而与冷蒿不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 植物质膜相对透性与土壤含水量、土壤 C/N、土壤粘粒、C、N 含量之间的相关分析

Table 4 Correlations between EC of the plants and soil moisture, the content of clay, C, N, C/N in soil					
种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	-0.361 *	-0.492 **	-0.298	-0.517 **	-0.184
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	0.285	0.294	0.348 *	0.350 *	0.242
冷蒿 <i>A. frigida</i>	-0.329 *	0.462 **	-0.297	-0.263	-0.545 **
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	-0.45 **	0.329 *	-0.478 **	-0.461 **	-0.441 **

SM: soil moisture, S. Clay: the content of clay in soil, S. C: the content of organic Carbon in soil, S. N: the content of total Nitrogen in soil;
* 表示显著水平为 0.05 时, 相关显著, indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** 表示显著水平为 0.01 时, 相关极显著 indicates very significant correlation ($P < 0.01$);下同 the same below

2.3 植物脯氨酸含量与土壤因子的相关分析

羊草叶片脯氨酸含量与土壤含水量、土壤有机 C、全 N、土壤粘粒含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 5),与土壤 C/N 比只存在负相关,但关系不紧密 ($P > 0.05$),即土壤含水量、粘粒、有机 C 及 N 含量的降低均会使羊草叶片内源脯氨酸大量积累。糙隐子草叶片脯氨酸含量与土壤含水量、土壤粘粒、有机 C、全 N 含量、土壤 C/N 比的相关性与羊草相同,也反映了除土壤 C/N 比外的多数土壤指标的衰减均会引起糙隐子草叶片脯氨酸的大量积累。冷蒿脯氨酸含量与土壤 C/N 比、全 N 含量的关系与质膜相对透性正好相反,与土壤粘粒含量呈极显著正相关,说明土壤 C/N 比、粘粒含量对其脯氨酸影响较大。扁蓿豆内源脯氨酸与土壤因子的关系中,和冷蒿有相似之处,而与羊草、糙隐子草相反。

表 5 植物脯氨酸含量与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析
Table 5 Correlations between PRO of the plants and soil moisture, the content of clay, C, N, C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	-0.781 **	-0.200	-0.716 **	-0.926 **	-0.587 **
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	-0.696 **	-0.277	-0.628 **	-0.849 **	-0.498 **
冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.318	-0.674 **	0.372 **	-0.185	0.464 **
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	0.395 **	-0.256	0.384 **	0.416 **	0.358 *

2.4 植物 MDA 含量与土壤因子的相关分析

羊草 MDA 与土壤 C/N 比呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 6),与土壤含水量、粘粒、有机质、全 N 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$),说明土壤因子均与 MDA 的关系非常密切。糙隐子草 MDA 与土壤含水量、与土壤 C/N 比、土壤有机 C 呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与土壤粘粒、全 N 含量的负相关性不显著 ($P > 0.05$),说明土壤 C/N 比和土壤有机 C、含水量的衰减是导致糙隐子草 MDA 积累的关键因子。冷蒿 MDA 与土壤含水量、土壤粘粒、全 N 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与土壤 C/N 比呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与土壤有机 C 含量不相关 ($P > 0.05$),说明随着土壤 C/N 比的增大、土壤含水量、土壤粘粒、全 N 含量的减少,MDA 含量降低。扁蓿豆 MDA 与土壤因子的关系和冷蒿相似,但与土壤有机 C 含量的相关性极显著 ($P < 0.01$)。

表 6 植物 MDA 含量与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析
Table 6 Correlations between MDA contents of the plants and soil moisture, the content of clay, C, N, C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	0.655 **	-0.997 **	0.719 **	0.464 **	0.820 **
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	-0.376 **	-0.486 **	-0.312	-0.533 **	-0.197
冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.485 **	-0.947 **	0.561 **	0.275	0.684 **
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	0.646 **	-0.772 **	0.680 **	0.535 **	0.728 **

2.5 植物保护酶活性与土壤因子之间的相关分析

羊草 SOD 活性与土壤 C/N 比和土壤有机 C 呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 7),与土壤含水量、土壤粘粒含量有负相关,与土壤全 N 含量有正相关 ($P > 0.05$),但与三者的相关系数未达到显著水平 ($P > 0.05$),说明土壤 C/N 比和土壤有机 C 的衰减是导致羊草 SOD 活性增高的关键因子,但随着土壤 N 素的缺乏,其 SOD 活性会降低。羊草 POD、CAT 活性与土壤 C/N 比呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 8、9),与土壤含水量、土壤粘粒、有机 C、全 N 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。随着土壤 C/N 比的增大,土壤含水量、土壤粘粒、有机 C、全 N 含量的减少,羊草叶片 POD、CAT 的活性大幅度降低,其中土壤 C/N 比与 POD 活性关系最密切,土壤有机 C 与 CAT 活性关系最密切。糙隐子草 SOD 活性和土壤之间的相关性与羊草基本一致,因此土壤 C/N 比和

土壤有机 C 的衰减也是使糙隐子草 SOD 活性增高的关键因子 ,其中和羊草不同的是 ,与土壤全 N 含量的不显著关系是正向的 ,说明随着土壤 N 素的缺乏 ,糙隐子草 SOD 活性会上升。冷蒿 SOD、POD 活性与土壤因子的相关方向同羊草、糙隐子草 ,但相关程度不及二者 ,只有土壤 C/N 比与其 SOD 活性呈极显著负相关 ($P < 0.01$) ,其余均不显著 ($P > 0.05$) ,其 CAT 与土壤因子的关系同羊草相反。扁蓿豆保护酶与土壤各因子的相关性均较强 ,随着土壤水分、养分、细颗粒物含量的衰减 ,SOD 活性增高 ,POD、CAT 活性降低 ,3 种保护酶中 POD、CAT 活性对土壤环境变化的响应较强烈。

表 7 植物 SOD 活性与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析

Table 7 Correlations between activity of SOD of the plants and soil moisture , the content of clay , C , N , C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	-0.224	-0.551 **	-0.187	-0.370 **	0.287
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	-0.231	-0.398 **	-0.283	-0.328 *	-0.196
冷蒿 <i>A. frigida</i>	-0.245	-0.378 **	0.260	-0.178	0.312
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	-0.382 **	0.192	-0.419 **	-0.441 **	-0.334 *

表 8 植物 POD 活性与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析

Table 8 Correlations between activity of POD of the plants and soil moisture , the content of clay , C , N , C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	0.474 **	-0.547 **	0.495 **	0.406 **	0.524 **
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	0.661 **	-0.576 **	0.611 **	0.654 **	0.637 **
冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.245	-0.192	0.230	0.264	0.221
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	0.596 **	-0.766 **	0.523 **	0.494 **	0.654 **

表 9 植物 CAT 活性与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析

Table 9 Correlations between activity of CAT of the plants and soil moisture , the content of clay , C , N , C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	0.648 **	-0.440 **	0.636 **	0.658 **	0.603 **
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	0.205	0.259	-0.222	0.271	-0.234
冷蒿 <i>A. frigida</i>	-0.491 **	0.518 **	-0.487 **	-0.443 **	-0.525 **
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	0.451 **	-0.331 *	0.593 **	0.429 **	0.511 **

2.6 植物 ABA 含量与土壤因子之间的相关分析

羊草叶片内源 ABA 含量与土壤 C/N 比呈极显著正相关 ($P < 0.01$) (表 10) ,与土壤含水量、土壤粘粒、有机 C、全 N 含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$) ,其中与土壤有机 C 关系最密切。糙隐子草叶片内源 ABA 含量只与土壤有机 C 呈显著负相关 ($P < 0.05$) ,与土壤含水量、土壤粘粒、全 N 含量的负相关及与土壤 C/N 比的正相关 ,均未达到显著水平 ($P > 0.05$) ,说明沙漠化过程中 ,随着土壤中有机 C 含量的减少 ,糙隐子草 ABA 大量积累。冷蒿内源 ABA 含量与土壤因子的相关性和羊草正好相反 (方向) ,相关程度均极显著 ($P < 0.01$) 。扁蓿豆内源 ABA 与土壤因子的关系均为明显不相关 ($P > 0.05$) 。

表 10 植物 ABA 含量与土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 之间的相关分析

Table 10 Correlations between ABA contents of the plants and soil moisture , the content of clay , C , N , C/N in soil

种名 Species	相关系数 Correlation coefficient				
	土壤含水量 SM	土壤 C、N 比 S. C/N	土壤粘粒含量 S. Clay	土壤有机 C 含量 S. C	土壤全 N 含量 S. N
羊草 <i>L. chinensis</i>	-0.780 **	0.380 **	-0.745 **	-0.842 **	-0.672 **
糙隐子草 <i>C. squarrosa</i>	-0.321	0.224	-0.313	-0.337 *	-0.295
冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.723 **	-0.816 **	0.755 **	0.613 **	0.798 **
扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	0.211	0.186	0.206	0.222	0.197

3 讨论

草原沙漠化过程中 ,羊草作为敏感种^[12] ,在与土壤因子的关系中 ,土壤含水量及土壤 C/N 比与其生理指标 (膜相对透性、脯氨酸、MDA、保护酶和 ABA)的相关水平较高 ,因此土壤水分、C/N 比是影响羊草生理受损的关键因子。在这些生理指标中 MDA 和 ABA 与土壤因子的相关性较高。环境胁迫与植物生理指标的分析中 ,MDA 是较为活跃的因素 ,产生的 ROS (活性氧)对有机体的损伤机理主要与 DNA 氧化损伤有关^[21]。近年来 ,人们对 ABA 与抗逆性开展的更为细致深入的研究 ,发现 ABA 作为重要的细胞逆境信号物质介导了一系列基因表达^[22-24] ,而且从细胞对水分胁迫原初信号的感知到编码 ABA 生物合成关键酶基因的表达是一条最为关键的细胞逆境信息传递途径^[25]。另外 ,干旱胁迫时 ABA 作为信号传导途径 ,引起反应的基因表达 ,在触发植物对逆境刺激的反应中是一种必需的传递体 (mediater)^[26]。所以在我们的实验中推测 ABA 可能是羊草生理受损的关键启动子 ,起到传导、链接反应 ,通过信息传递和基因表达 ,从而加重膜脂过氧化 ,直至响应 DNA 损伤^[27]。

糙隐子草和冷蒿在草原沙漠化过程中作为积极忍耐类型^[12] ,受土壤影响的机制与羊草不尽相同 ,主导因子表现不突出 ,相对来说土壤有机 C 对糙隐子草生理代谢较为重要 ,而土壤 C/N 比对冷蒿生理影响较明显 ,其次是土壤全 N ,且土壤含水量、土壤粘粒对其影响也较重要。它们的 ABA 与反映土壤的 5 个指标均关系一致 ,且亦均极显著相关 ($P < 0.01$) ,同时它们 MDA 只有与土壤 C/N 比相关性一致 ($P < 0.01$)。在生理层面上 ,整体来说 ,冷蒿群落与土壤因子的相关性较糙隐子草群落明显 ,即改变了土壤因子对冷蒿的生理影响较大 ,因此在沙漠化进展到 LD 阶段时 ,保护其土壤至关重要 ,同时在这些生理指标中冷蒿 ABA 受土壤影响最重 ,这一点与羊草相同 ,除作用于羊草的特性外 ,还与 ABA 诱导抗性基因有关^[28]。这也暗示了这一阶段生态系统既有可能抵抗力增强 ,向恢复方向发展 ,也有可能继续受损 ,向重度沙漠化发展。冷蒿的生理指标中的 ABA 含量 (受土壤影响最重)与土壤因子的相关方向均与羊草相反 ,反映了它们对沙漠化抗性、适应性的差异 ,最终导致了形态、生长的差别^[29]。

扁蓿豆 (迟钝型)^[12]对土壤的物理性质 (土壤含水量、土壤粘粒)的敏感性要高于土壤的化学性质 (土壤有机 C、全 N 和土壤 C/N 比) ,土壤营养元素的衰减并没有成为制约其生长发育的主导因子 ,而土壤环境在沙漠化演变过程中最重要的特征是土壤的 C、N 元素的衰减 ,因此这一点也从侧面验证了它对沙漠化的迟钝性。另外扁蓿豆的 ABA 与土壤因子均关系不密切 ($P > 0.05$)与此也是相吻合的。

植物在逆境胁迫下的生理代谢变化一直是环境胁迫机理的研究热点。综合不同类型植物 7 个生理指标与土壤 5 个指标的相关分析 ,看出 7 个生理指标中 ,多数植物 MDA 和 ABA 在沙漠化胁迫环境下反应较为强烈 ,MDA 是反映膜脂过氧化的重要指标^[15-20] ,据 Gayler 等报道^[30] ,干旱时植物 ABA 可显著提高渗透调节能力 ,诱导脯氨酸累积。沙漠化过程中 ,ABA 作为“胁迫激素” ,通过信号传导使膜脂发生过氧化作用^[26] ,使质膜透性增大 ,从而引起 ABA 的累积 ,进而可能诱导脯氨酸的增加^[31]。作者的研究也已充分肯定了这种认识。另外 ,从上述 4 个共有种群与土壤因子的相关分析中 ,比较一下与反映土壤的 5 个指标均不相关的生理指标 ,可以发现 ,羊草这种情形不存在 ,糙隐子草有 1 个这类指标 ,即 CAT 活性 ,冷蒿有 1 个这类指标 ,即 POD 活性 ,而扁蓿豆这 1 个指标为 ABA ,ABA 作为“胁迫激素” ,在众多环境胁迫下的响应都是最灵敏和最关键的^[32,33] ,

并且已有实验证明 ABA 是受损、适应等生理反应的启动子^[34,35],因此共有种群与土壤因子的相关分析进一步喻示了扁蓿豆在沙漠化环境中最不敏感,其次是冷蒿、糙隐子草,而羊草对沙漠化环境最敏感。

本研究结果提示,不同耐胁迫类型植物在沙漠化过程中对土壤因子的响应机制不同,其中敏感型(羊草)对土壤水分、C/N 比响应较强,而积极忍耐型(糙隐子草和冷蒿)对土壤反应的主导因素不突出,总体上土壤因子中 C/N 比与植物的生理响应关系密切,因此对于防止沙质草原沙漠化来说,最有效的措施是控制土壤的关键因子,即土壤 C/N 比。这一点可以充分应用到实际治理工作中,对土壤采取一定的措施,使之逐步恢复以利于草地的良性发展。总之,植物体内一些生理变化本身具有一定的矛盾性,这就需要用大量的实验去探索机理,解决矛盾。

References :

- [1] Cheng X. Frontier issue of modern ecology in the study of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Resources Science*, 1999, 21 (5) : 2-8.
- [2] Wang B F, Wang Z G, Jiang Z P, *et al.* Impact of Shelterforest Patterns on Rehabilitation of Desertified Land in Arid Area. *Journal of Desert Research*, 2003, 23 (3) : 236-241.
- [3] Kang M Y, Dong S K, Huang X X, *et al.* Ecological regionalization of suitable trees shrubs and herbages for vegetation restoration in the farming-pastoral zone of North China. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45 (10) : 1157-1165.
- [4] Yang X H, Zhang K B, Hou R P, *et al.* Vegetation variations under different exclusion measures and their correlation to soil factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (12) : 3212-3219.
- [5] Feng W, Zhang W J, Feng X Z. Character research of plantation and soil factors in restoration process in sandlot near altiplate. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24 (3) : 130-224.
- [6] Zhou Z Y, Li F R, Chen Y M, *et al.* Growth and reproduction and their relationships with soil moisture in artificially established *Artemisia sphaerocephala* populations of different densities in the Alxa Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (5) : 895-899.
- [7] Hao Z Q, Guo S L. Canonical correspondence analysis on relationship of herbs with their environments on northern slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (10) : 2000-2008.
- [8] Cui S X, Wang W, Chen G C, *et al.* Seasonal changes of endogenous phytohormones, fatty acid composition of chloroplast membrane and enzymes of membranelipids antioxidation system in two desert plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (1) : 96-101.
- [9] Zhou R L, Zhao H L, Wang H O. Characters of Resisting Adverse Environment in Vegetation Evolution in Horqin Sandland. *Journal of Desert Research*, 1999, 19 (Supp. 1) : 1-6.
- [10] Zhou R L, Wang H O, Zhao H L. Physiological changes and high-temperature resistance of *Artemisia halodendron* and *A. frigida*. *Journal of Desert Research*, 1999, 19 (Supp. 1) : 59-64.
- [11] Zhou R L, Sun G J, Wang H O. Osmoregulation Changes in Desert Plants Under Drought and High Temperature Stresses, Related to Their Resistance. *Journal of Desert Research*, 1999, 19 (Supp. 1) : 18-22.
- [12] Zhu Z M, Yang C. Researches on stress resistant types of the plants during the grassland sandy desertification process. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (6) : 1093-1100.
- [13] Nanjing Agriculture Institute eds. *Soil Farming and Chemistry Analysis*. Beijing : Agricultural Press, 1985. 31-52.
- [14] Lao P F. *Soil Physical Chemistry*. Beijing : Agricultural Press, 1985. 23-27.
- [15] Foyer C H, Harbinson J. Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport. In : Foyer C H, Mullineaux P M eds. *Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants*. Boca Raton : CRC Press, 1994, 1-42.
- [16] Bowler C, Van Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1992, 43 : 83-116.
- [17] Moran J F, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, *et al.* Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta*, 1994, 94 : 346-352.
- [18] Cakmak I and Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activity of superoxide dismutase ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*, 1992, 98 : 1222-1227.
- [19] Baisak R, Rana D, Acharya P B, *et al.* Alterations in the activities of active oxygen scavenging enzymes of wheat leaves subjected to water stress. *Plant and Cell Physiol*, 1994, 35 : 489-495.
- [20] Mehlhorn H and Wenzel A. Manganese deficiency enhance ozone toxicity in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Saxa). *Plant Physiol*, 1996, 148 : 155-159.
- [21] Halliwell B and Aruoma O I. *DNA and free radical*. New York : Ellis Horwood Limited Press, 1993.

[22] Davies W J ,Zhang J. Root to shoot signals and regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* ,1991 ,42 :55 – 76.

[23] Giraudat J ,Parey F ,Bertauche N ,*et al.* Current advances in abscisic acid action and signaling. *Plant Mol Biol* ,1994 ,26 :1557 – 1577.

[24] Ingram J ,Bartels D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* ,1996 ,47 :377 – 403.

[25] Jia W S ,Xing Y ,Lu C M ,*et al.* Signal Transduction from Water Stress Perception to ABA Accumulation. *Acta Botanica Sinica* ,2002 44 (10) : 1135 – 1141.

[26] Merlot S ,Giraudat J. Genetic analysis of abscisic acid signal transduction. *Plant Physiol* ,1997 ,114 :751 – 757.

[27] Zeng Z H ,Zhang Z Y. The oxidative damage of mitochondrial DNA by free radicals and aging. *Progress in Biochemistry and Biophysics* ,1995 , 22 :429 – 432.

[28] Smirnoff N ,Cumbes Q J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. *Phytochemistry* ,1989 28 :1057 – 1060.

[29] Zhu Z M ,Yang C. Changes of four common plant populations growth and their anti-oxidative enzymatic system in desertification process. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2004 ,15 (12) :2261 – 2266.

[30] Gayler K R ,Glaziou K T. Plant enzymes synthesis :hormonal regulation of invertase and peroxidase synthesis in sugar cane. *Planta* ,1969 ,84 :185 – 194.

[31] Zeevaart J A and Creelman R A. Metabolism and physiology of absiscic acid. *Ann Rev plant physiol* ,1988 ,39 :439 – 473.

[32] Lopez-Carbonell M ,Alegre L ,Van Dnckelen H A. Changes in cell ultrastructure and endogenous abscisic acid and indole-3-acetic acid concentrations in *Fatsia japonica* leaves under polyethylene glycol-induced water stress *Plant Growth Regul* ,1994 ,15 :165 – 174.

[33] Xiong L ,Schumaker K S ,Zhu K J. Cell signaling during cold ,drought ,and salt stress. *Plant Cell* ,2004 , (suppl) :165 – 183.

[34] Pastor A ,Lopez-Carbonell M ,Alegre L. Absciscic acid immunolocalization and ultrastructural changes in water-stressed lamender (*Lavandula stoechas* L.) plants. *Physiol Plant* ,1999 ,105 :272 – 279.

[35] Shinozaki K ,Yamaguchi-Shinozaki K. Gene expression and signal trasduction in water-stress response. *Plant Physiol* ,1997 ,117 :263 – 271.

参考文献：

[1] 程序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题. *资源科学* ,1999 ,21 (5) :2 ~ 8.

[2] 王葆芳,王志刚,江泽平,等. 干旱区防护林营造方式对沙漠化土地恢复能力的影响研究. *中国沙漠* ,2003 ,23 (3) :236 ~ 241.

[4] 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍,等. 半干旱沙地封育草场的植被变化及其与土壤因子间的关系. *生态学报* ,2005 ,25 (12) :3212 ~ 3219.

[5] 冯伟,张万军,冯学赞. 接坝农牧交错区沙化地生态恢复过程中土壤因子与植被特征分析. *干旱地区农业研究* ,2006 ,24 (3) :130 ~ 224.

[6] 周志宇,李锋瑞,陈亚明,等. 阿拉善荒漠不同密度白沙蒿人工种群生长、繁殖与土壤水分的关系. *生态学报* ,2004 ,24 (5) :895 ~ 899.

[7] 郝占庆,郭水良. 长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析. *生态学报* ,2003 ,23 (10) :2000 ~ 2008.

[8] 崔素霞,王蔚,陈国仓,等. 两种沙生植物内源激素、叶绿体膜脂肪酸组成和膜脂抗氧化系统酶类的季节变化. *植物生态学报* ,2000 ,24 (1) :96 ~ 101.

[9] 周瑞莲,赵哈林,王海鸥. 科尔沁沙地植被演替的抗逆性特征. *中国沙漠* ,1999 ,19 (Supp. 1) :1 ~ 6.

[10] 周瑞莲,王海鸥. 在干旱、高温胁迫中沙生植物抗脱水性与膜脂过氧化关系的研究. *中国沙漠* ,1999 ,19 (Supp. 1) :59 ~ 64.

[11] 周瑞莲,孙国钧,王海鸥. 沙生植物渗透调节物对干旱、高温的响应及其在逆境中的作用. *中国沙漠* ,1999 ,19 (Supp. 1) :18 ~ 22.

[12] 朱志梅,杨持. 草原沙漠化过程中植物的耐胁迫类型研究. *生态学报* ,2004 ,24 (6) :1093 ~ 1100.

[13] 南京农学院主编. 土壤农化分析. 北京 :农业出版社 ,1985. 31 ~ 52.

[14] P. F. 劳 [美]. 土壤物理化学. 北京 :农业出版社 ,1985. 23 ~ 27.

[27] 曾昭惠,张宗玉. 自由基对线粒体 DNA 的氧化损伤与衰老. *生物化学与生物物理进展* ,1995 22 :429 – 432.

[29] 朱志梅,杨持. 沙漠化过程中四个共有种的生长和抗氧化系统酶类变化. *应用生态学报* ,2004 ,15 (12) :2261 ~ 2266.