异质生境条件下荒漠草原蒙古冰草生理生态特征的研究

刘梦鸽[1],史佳梅[1],许冬梅[1,2*],王星[1],刘万龙[1],田小龙[1]

(1. 宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021;2. 宁夏草牧业工程技术研究中心,宁夏 银川 750021)

摘要:【目的】研究荒漠草原蒙古冰草对生境变化的生理生态适应策略。【方法】分别在宁夏盐池县大水坑镇、青山乡、花马池镇和高沙窝镇选取4种不同生境以蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)为优势种的群落,研究蒙古冰草渗透调节物质及抗氧化系统等生理生态特征对异质生境的响应。【结果】荒漠草原不同生境群落蒙古冰草可溶性糖含量、脯氨酸含量、过氧化物酶活性、叶片相对含水量、叶绿素含量及氨基酸含量随生境的改变均有显著变化($P<0.05$)。【结论】在土壤水分、养分等资源有限的环境条件下,荒漠草原蒙古冰草种群可通过自身渗透调节物质的积累及抗氧化系统的激活等协同和权衡作用适应变化的生境。在大水坑镇和花马池镇自然生境条件下,蒙古冰草主要通过增强过氧化物酶活性抵御逆境胁迫;在青山乡和高沙窝镇更为严酷的环境条件下,蒙古冰草主要通过脯氨酸或可溶性糖的积累适应逆境胁迫。

关键词:异质生境;蒙古冰草;渗透调节物质;抗氧化系统

中图分类号:S543.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)06-0094-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.06.013

在干旱、半干旱地区,水分是限制草地生态系统功能和生产力的关键因子[1]。长期干旱或短时间的水分亏缺都可能对植物生长发育各阶段的生理过程产生不良影响,包括植物的光合作用、呼吸作用、各种酶活性及有机物质的转化、运输、积累等生理代谢过程。在长期进化过程中,干旱、半干旱地区不同生活型的植物逐渐形成了适应干旱环境的生理机制和形态特征[2]。例如,一年生植物具有随降水而萌发的随机型生存策略[3];短命植物通过缩短生活周期应对干旱;多年生植物则通过调节自身生长及各种生理过程增强对胁迫环境的抵抗力[4]。当干旱胁迫发生时,植物可以合成或累积渗透调节物质以应对环境的变化,保证其在逆境中存活和繁衍,这种生态适应策略对脆弱、干旱生态系统结构和功能的稳定具有重要作用[5-8]。

荒漠草原作为草原类组中旱生性最强的生态系统类型,占宁夏天然草地总面积的55%,广泛分布于宁夏中、北部,风蚀作用强烈,降水少且蒸发大,土壤贫瘠,植物群落结构简单且不稳定,生态环境极为脆弱[9]。蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)又名沙芦草,是禾本科冰草属多年生草本植物,有较强的耐旱、耐盐和抗风蚀能力,适应沙地生境,是重要的牧草资源,已被列为亟需保护的农作物野生近缘种和国家二级珍稀濒危植物,在宁夏荒漠草原区广泛分布[10-12]。国内学者从不同角度研究了植物对干旱胁迫的形态和生理适应性,包括水分关系[13]、干旱复水后的光合恢复能力[14-15]、水分利用效率[16]、抗氧化酶活性和渗透调节[17]、叶片解剖特征[18]以及克隆植物的形态与生理可塑性等方面[19]。然而,基于不同生境荒漠草原蒙古冰草自然种群适应策略开展的研究鲜有报道。本研究自南向北分别在宁夏盐池县大水坑镇、青山乡、

收稿日期:2022-05-24;**修回日期:**2022-06-18

基金项目:国家自然科学基金项目(32060405);宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)项目(NXYLXK2017A01)

作者简介:刘梦鸽(2000-),女,河南汝州人,本科。

E-mail:1755198767@qq.com

*通信作者。E-mail:nxxudongmei@163.com

花马池镇和高沙窝镇选取4种不同生境的以蒙古冰草为优势种的群落，通过研究蒙古冰草渗透调节物质及抗氧化系统等生理指标的变化，探究蒙古冰草生理生态特征对生境变化的响应及其适应策略，以期为荒漠草原生态系统的保护和恢复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县，盐池县地势南高北低，北接毛乌素沙地，南靠黄土高原，属典型过渡地带。盐池县属典型的大陆性季风气候，干旱少雨，日照充足，年平均气温7.8 ℃，冬夏两季平均温差28 ℃左右，年降水量250～350 mm，自南向北逐渐降低，主要集中在夏秋两季，年际变化大，蒸发强烈，年均蒸发量是年降水量的6～7倍。境内土壤主要为灰钙土、风沙土，大多土壤结构松散、肥力较低，养分贫瘠，部分地区土壤的次生盐渍化严重。草原类型包括典型草原和荒漠草原，群落中常见植物种群以旱生类型为主[20]，优势物种有蒙古冰草、牛枝子(*Lespedeza potanini*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、赖草(*Leymus secalinus*)、老瓜头(*Cynanchum komarovii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)和刺蓬(*Salsola laricifolia*)等。

1.2 样地设置

基于盐池县自南向北地形由黄土丘陵向鄂尔多斯缓坡丘陵过渡、气候由半干旱向干旱过渡、草原类型由典型草原向荒漠草原过渡的自然特征，在盐池县境内自南向北，分别在大水坑镇(D)、青山乡(Q)、花马池镇(S)和高沙窝镇(G)选取地势较为平坦，以蒙古冰草为优势种的4种不同生境的群落。在每种生境选取植被较均匀一致的地段，随机设置3个50 m×50 m的群落片段作为研究样地，在每个样地，按梅花状设置5个1 m×1 m的样方，每个生境15个样方，共计60个样方，样地基本情况见表1。

1.3 野外调查及取样

于2021年7月进行植被调查，调查每个样方的植被物种组成、高度、盖度和生物量[21]。在每个样地沿两条对角线采集蒙古冰草叶片，置于液氮罐中，带回实验室用于生理生化指标的测定。记录每个植株在对角线所处的位置、海拔等微地形信息。在每个样方用土钻采集0～10、10～20和20～30 cm土层土壤样品，去除凋落物、植物根系等杂物，待自然风干后，分别过0.149 mm和2 mm筛以测定土壤理化性质；同时，用铝盒分层采集土壤样品以测定土壤含水量(表2)。

1.4 样品测定指标及方法

可溶性糖采用蒽酮乙酸乙酯比色法测定；过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法测定[22]；游离氨基酸采用茚三酮显色法测定[23]；叶片相对含水量采用烘干称重法测定；脯氨酸采用磺基水杨酸提取，酸性茚三酮显色法测定；过氧化氢(H_2O_2)采用紫外分光光度计检测；丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸显色法测定；超氧化物歧化酶(SOD)采用光化学抑制法测定，以单位反应时间内抑制氮蓝四唑光化还原50%为一个酶活性单位(U)；过氧化氢酶(CAT)采用240 nm比色法测定；叶绿素采用混合液浸提法测定[24]；超氧阴离子(O_2^-)采用羟胺氧化法测定[25]。

土壤水分含量采用烘干法测定；土壤颗粒组成采用Microtrac S3500激光粒度分析仪测定；土壤总碳采用Elemental rapid CS cube元素分析仪测定；土壤全氮采用BUCHI Labortechnik AG K－360全自动凯氏定氮仪测定；土壤全磷采用$HClO_4$－H_2SO_4消煮－钼锑抗比色法测定；土壤全钾采用NaOH熔融－火焰光度法测定[26]。

1.5 数据处理

采用Excel 2013软件进行基础数据处理；采用SPSS 21.0软件进行单因素方差(One-Way ANOVA)和皮尔逊相关(Pearson correlation)分析，Duncun法进行多重比较；采用Origin 8.0制图。

2 结果与分析

2.1 不同生境荒漠草原蒙古冰草渗透调节物质含量的变化

2.1.1 不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片相对含水量和可溶性糖含量的变化 不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片相对含水量以大水坑镇最高(76.94%)，显著高于高沙窝镇和青山乡的57.90%和56.33%($P<0.05$)(图1-A)。不同生境荒漠草原蒙古冰草可溶性糖含量以青山乡最高(7.89%)，显著高于花马池镇的6.53%($P<0.05$)(图1-B)。

2.1.2 不同生境荒漠草原蒙古冰草脯氨酸和氨基酸

表1 不同生境荒漠草原样地基本情况

Table 1 Basic situation of desert steppes under different habitats

生境	经度	纬度	海拔/m	多样性指数	植被盖度/%	地上生物量/(g•m^{-2})	优势种	多年平均降水量/mm	2021年降水量	土壤类型
D	E 106°58′3.82″	N 37°24′54.43″	1 515.28	1.64	71.9	182.09	蒙古冰草、牛枝子、长芒草	294.0	236.7	灰钙土
Q	E 107°1′28.32″	N 37°30′49.62″	1 462.03	1.53	65.5	69.12	蒙古冰草、牛枝子、猪毛蒿	295.6	237.1	灰钙土
S	E 107°16′48.32″	N 37°45′42.07″	1 395.22	1.96	67.3	70.12	蒙古冰草、牛枝子、猪毛蒿	313.2	238.7	灰钙土
G	E 107°0′6.02″	N 37°55′47.46″	1 386.52	1.82	56.7	34.94	蒙古冰草、牛枝子、刺蓬	275.5	204.8	灰钙土

表2 不同生境荒漠草原土壤理化性状

Table 2 Physical and chemical properties of desert steppes under different habitats

生境	总碳/(g•kg^{-1})	全氮/(g•kg^{-1})	全磷/(g•kg^{-1})	全钾/(g•kg^{-1})	含水量/%	黏粉粒/%	pH	电导率/(E•m^{-1})
D	11.53±0.76^{a}	0.27±0.02^{b}	0.22±0.02^{b}	19.89±0.27^{c}	6.48±2.75^{a}	53.02±2.35^{a}	8.26±0.02^{b}	71.26±5.41^{a}
Q	7.53±0.81^{b}	0.21±0.02^{c}	0.22±0.01^{b}	24.83±0.32^{a}	5.15±2.18^{a}	53.04±1.42^{a}	8.64±0.03^{a}	67.78±4.26^{a}
S	12.10±5.46^{a}	0.33±0.05^{a}	0.27±0.01^{a}	24.87±0.75^{a}	6.67±3.76^{a}	56.56±2.54^{a}	8.04±0.05^{c}	72.34±17.71^{a}
G	6.93±0.15^{b}	0.23±0.03^{bc}	0.25±0.02^{a}	20.86±0.03^{b}	4.90±3.21^{a}	53.94±3.25^{a}	8.13±0.07^{d}	80.29±5.14^{a}

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

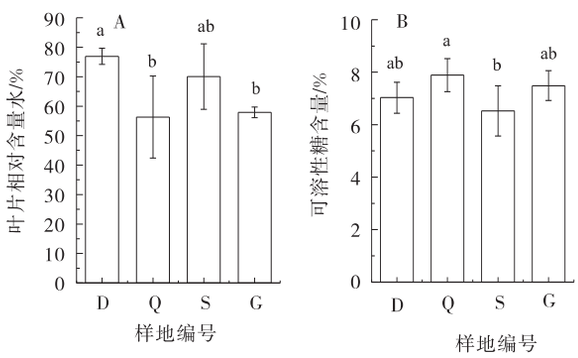

图1 不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片相对含水量和可溶性糖含量

Fig. 1 Relative water content and soluble sugar content of *Agropyron mongolicum* leaves in desert steppes under different habitats

注:不同小写字母表示不同生境之间差异显著($P<0.05$),下同

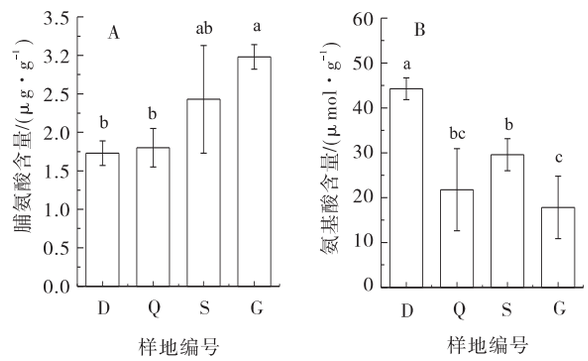

图2 不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片脯氨酸和氨基酸含量

Fig. 2 Proline and amino acid content of *Agropyron mongolicum* leaves in desert steppes under different habitats

含量的变化 不同生境荒漠草原蒙古冰草脯氨酸含量为1.73~2.98 μg/g,以高沙窝镇最高,显著高于大水坑镇和青山乡($P<0.05$),花马池镇、青山乡与大水坑镇之间差异不显著($P<0.05$)(图2-A)。蒙古冰草的氨基酸含量以大水坑镇最高(44.26 μmol/g),显著高于青山乡、花马池镇和高沙窝镇;高沙窝镇最低,显著低于花马池镇($P<0.05$)(图2-B)。

2.2 不同生境荒漠草原蒙古冰草抗氧化系统的变化

2.2.1 不同生境荒漠草原蒙古冰草过氧化物酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶含量的变化 不同生境荒漠草原蒙古冰草过氧化物酶活性表现为花马池镇(10 497.91 U/g)>大水坑镇(8 451.65 U/g)>青山乡(6 747.26 U/g)>高沙窝镇(3 099.38 U/g),各生境之间均显著差异($P<0.05$)(图3-A)。超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性在不同生境之间差异均不显著,变化范围分别为24.31~30.42 U/g(图3-B),97.22~106.31 U/g(图3-C)。

2.2.2 不同生境荒漠草原蒙古冰草叶绿素、丙二醛、

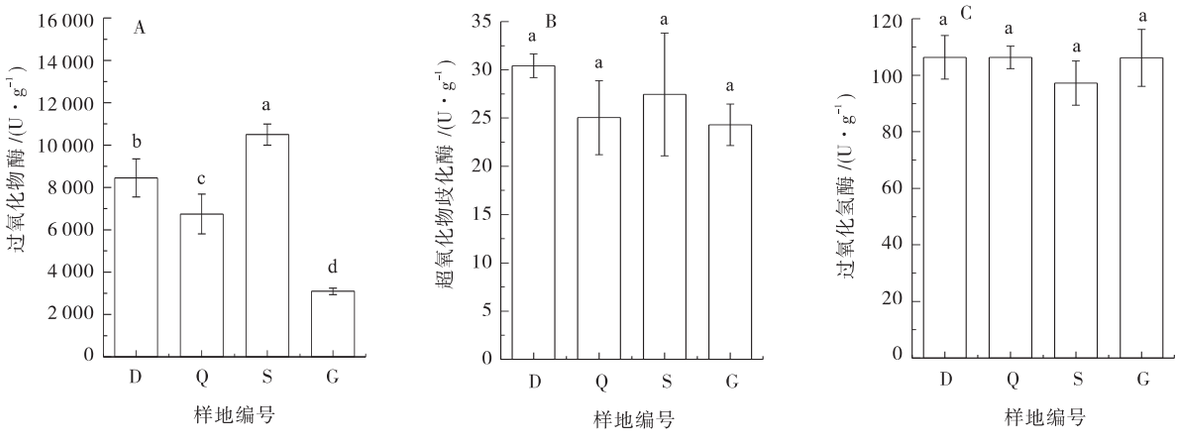

图 3　不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片抗氧化酶活性

Fig. 3　Antioxidase activity of *Agropyron mongolicum* leaves in desert steppes under different habitats

超氧阴离子和过氧化氢含量的变化　蒙古冰草叶片叶绿素含量以花马池镇和高沙窝镇较高，分别为 2.75、2.56 mg/g，显著高于大水坑镇（1.80 mg/g）和青山乡（1.78 mg/g）（$P<0.05$））（图 4-A）。丙二醛含量表现为大水坑镇＞花马池镇＞青山乡＞高沙窝镇，分布范围为 13.70～23.26 nmol/g，但不同生境之间差异不显著（$P<0.05$）（图 4-B）。蒙古冰草超氧阴离子含量和过氧化氢含量在不同生境之间差异均不显著（$P<0.05$），变化范围分别为 66.54～89.93 nmol/g（图 4-C），10.77～12.45 μmol/g（图 4-D）。

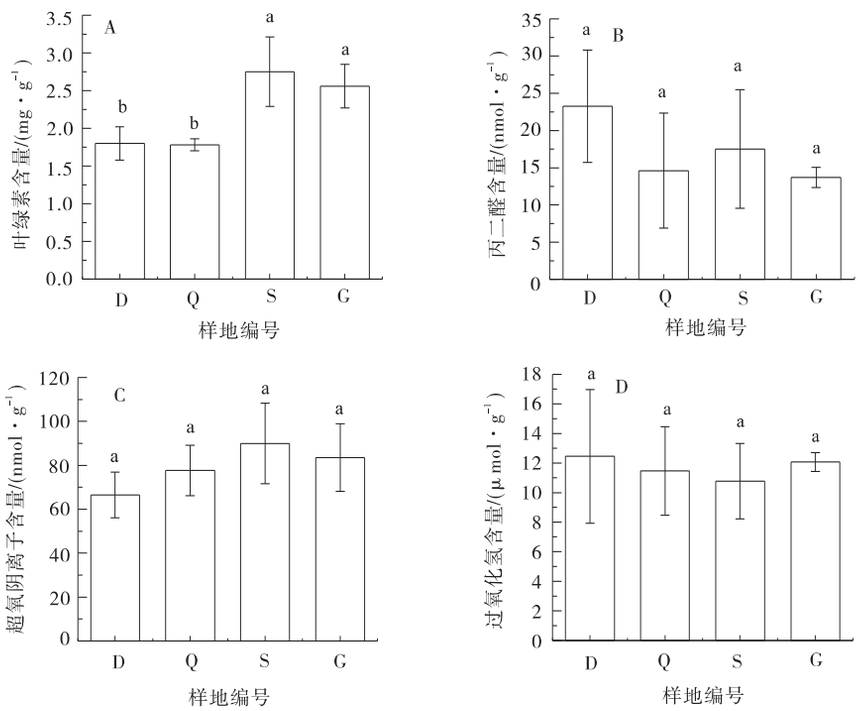

图 4　不同生境荒漠草原蒙古冰草叶片叶绿素、丙二醛、超氧阴离子和过氧化氢含量

Fig. 4　Chlorophyll, MDA, superoxide anion and hydrogen peroxide content of *Agropyron mongolicum* leaves in desert steppes under different habitats

2.3　荒漠草原蒙古冰草生理指标与生境因子的相关性

蒙古冰草各生理指标与生境因子之间的相关分析见图 5，蒙古冰草叶绿素含量与土壤全磷、叶片相对含水量与土壤含水量、土壤全碳之间呈显著正相关关系（$P<0.05$）；蒙古冰草氨基酸含量、超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量与土壤含水量之间均呈极显著正相关关系（$P<0.01$）；可溶性糖含量与土壤全氮、过氧化物酶活性与电导率、过氧化氢酶活性与土壤黏粉粒、超氧阴离子含量与 pH 值之间呈显著或极显著负相关关系（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。

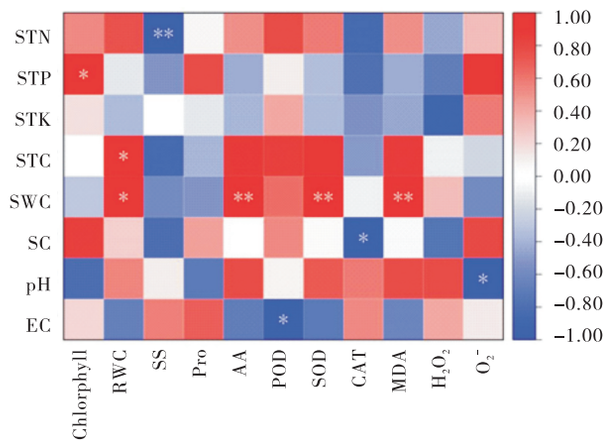

图5 荒漠草原蒙古冰草叶片生理指标与生境因子之间的相关性

Fig. 5 Correlation amony physiological indexes and habitat factors of *Agropyron mongolicum* leaves in desert steppes

注：*$P<0.05$，** $P<0.01$。STN 土壤全氮；STP 土壤全磷；STK 土壤全钾；STC 土壤总碳；SWC 土壤含水量；SC 土壤黏粉粒；pH 土壤 pH 值；EC 土壤电导率；Chlorphyll 叶绿素；RWC 叶片相对含水量；SS 可溶性糖；Pro 脯氨酸；AA 氨基酸；SOD 超氧化物歧化酶；CAT 过氧化氢酶；POD 过氧化物酶；MDA 丙二醛；H_2O_2 过氧化氢；O_2^- 超氧阴离子

3 讨论

植物对生境条件的适应取决于其自身生理、结构特性及生长发育进程与所处环境因素变化相配合的程度。同一物种在不同环境中所具有的抗氧化酶保护体系、渗透调节功能等均有不同[7]。水分是影响植物生理生态过程最为关键的要素，水分亏缺对植物存活、生长和分布产生重要影响[27]。本研究在宁夏盐池县的荒漠草原区进行，该区域是集干旱风沙等多种环境胁迫的综合体，尤其干旱是影响植物生长发育及草地生产力的主要因素，不同生境荒漠草原多年平均降水量及土壤水分含量均较低，即使是最高的花马池镇多年平均降水量和土壤含水量也仅为313.24 mm和6.67%，而在开展本研究的2021年，高沙窝镇降水量仅为204.77 mm，其他3种生境降水量差异不大，为236.74～238.67 mm，环境条件更为严酷，表明4种生境蒙古冰草自然种群可能均遭受一定的干旱胁迫。综合土壤因子的变化，大水坑镇和花马池镇碳氮及水分含量较青山乡和高沙窝镇高。植物在逆境胁迫条件下可通过体内渗透调节维持较高的光合速率和水分利用效率[28-29]，如脯氨酸和可溶性糖等的积累可以降低植物体内的渗透势、防止蛋白质结构遭到破坏并稳定酶结构与活性，进而减少逆境胁迫对植物造成的损伤[30-32]。本研究中高沙窝镇蒙古冰草的脯氨酸含量最高，但氨基酸含量最低($P<0.05$)，说明随着土壤含水量的下降，蒙古冰草通过渗透调节维持蛋白质结构的稳定性，并没有使其过多地水解为氨基酸。青山乡蒙古冰草叶片可溶性糖含量较高，表明其在特定环境条件下主要通过可溶性糖的积累调节自身代谢以减少逆境胁迫对其造成的损伤。徐世健等[33]研究发现蒙古沙冬青通过大量积累脯氨酸、可溶性糖以应对干旱胁迫，与本研究结果一致。大水坑镇蒙古冰草叶片氨基酸含量较高，这可能是由于逆境引起的植物细胞内生理生化变化，使蛋白质水解为氨基酸的速率加快。

在非胁迫环境下，植物细胞内活性氧的产生与清除处于动态平衡中，但是在胁迫条件下，这种平衡被破坏，致使活性氧过量积累，进而产生一系列导致植物损伤的生理生化反应[34]。SOD能催化超氧阴离子转化为H_2O_2和O_2，MDA则是衡量膜脂过氧化的指标[35]，MDA含量越高，膜系统过氧化损伤越大。大水坑镇MDA含量较高，表明其膜系统受到的过氧化伤害较大，导致叶绿素进一步下降，叶绿素含量的降低又减少了植物对光能的吸收，从而对植物形成一种光保护机制，同时活性氧的清除，也增强了植物的光保护能力[36]。而POD是清除H_2O_2的酶，使H_2O_2转变为无毒的H_2O，通过与SOD协同作用维持植物体内的自由基含量，防止植物损伤[37]。不同生境之间蒙古冰草的POD活性存在显著差异($P<0.05$)，以花马池镇和大水坑镇较高，表明这2种生境的蒙古冰草种群在遭受环境胁迫时，可通过增强POD活性做出应激反应以保护自身免受损伤。

蒙古冰草渗透调节和抗氧化系统的改变与所处生境的环境因子相关，其氨基酸含量、超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量与土壤含水量之间均呈极显著正相关，可溶性糖含量与土壤全氮含量呈极显著负相关($P<0.01$)，叶绿素含量与土壤全磷含量呈显著正相关($P<0.05$)，说明在盐池县荒漠草原区，除水资源限制外，贫瘠的土壤养分环境也是影响植物生长发育的重要因素。以上结果也表明，盐池县荒漠草原区总

体生境较为严酷，植物不同程度地遭受逆境胁迫，在蒙古冰草各自然种群长期进化的过程中，为维持其种群结构，植物个体在渗透调节和抗氧化方面形成了自身的权衡适应策略。

4　结论

生境条件的改变对蒙古冰草可溶性糖含量、脯氨酸含量、过氧化物酶活性、叶片相对含水量、叶绿素含量及氨基酸含量均有显著影响。在环境条件较好的大水坑镇和花马池镇，蒙古冰草主要通过增强过氧化物酶活性抵御逆境胁迫；在环境更为严酷的高沙窝镇和青山乡，蒙古冰草主要通过脯氨酸或可溶性糖的积累适应逆境胁迫。

参考文献：

[1] Ye R H, Liu G F, Chang H, *et al*. Response of plant traits of *Stipa breviflora* to grazing intensity and fluctuation in annual precipitation in a desert steppe, northern China[J]. Global Ecology and Conservation, 2020, 24: e1237.

[2] 刘祖棋，张石城．植物抗性生理学[M]．北京：中国农业出版社，1994：198－221.

[3] Dodd M B, Lauenroth W K, Welker J M. Differential water resource use by herbaceous and woody plant life－forms in a shortgrass steppe community[J]. Oecologia, 1998, 117: 504－512.

[4] Heilmeier A, Wartinger M, Erhard R, *et al*. Soil drought increases leaf and whole-plant water use of Prunus dulcis grown in the Negev Desert[J]. Oecologia, 2002, 130(3): 329－336.

[5] Aranda L, Gil J, Pardos. Effects of thinning in a *Pinus sylvestris* L. stand on foliar water relations of *Fagus sylvatica* L. seedlingsplanted within the pinewood [J]. Trees－Structure and Function, 2001, 15(6): 358－364.

[6] 李彩霞，兰海燕．荒漠植物柽柳抗逆机制的研究进展[J]．生物技术通报，2021，37(5)：128－140.

[7] 周紫鹃，苏培玺，解婷婷，等．不同生境下红砂(*Reaumuria soongorica*)的生理生化特征及适应性[J]．中国沙漠，2014，34(4)：1007－1014.

[8] 孙安安，智颖飙，姜平平，等．西鄂尔多斯4种荒漠植物光合作用特征与差异性[J]．生态学报2019，39(13)：4944－4952.

[9] 秦建蓉，马红彬，沈艳，等．宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落物种多样性研究[J]．西北植物学报，2015，35(9)：1891－1898.

[10] Du J, Li X, Li T, *et al*. Genome-wide transcriptome profiling provides overwintering mechanism of *Agropyron mongolicum* [J]. BMC Plant Biology, 2017, 17 (1): 138－151.

[11] 李晓全，高有汉，刘扬，等．我国北方9份旱生—沙生植物蒙古冰草遗传多样性研究[J]．草业学报，2016，25(3)：77－85.

[12] 郑殿升，杨庆文．中国作物野生近缘植物资源[J]．植物遗传资源学报，2014，15(1)：1－11.

[13] 吴金山，张景欢，李瑞杰，等．植物对干旱胁迫的生理机制及适应性研究进展[J]．山西农业大学学报(自然科学版)，2017，37(6)：452－456.

[14] 曹丹，陈道钳，吴茜，等．复水对旱后不同玉米品种植株生长恢复能力及其生理响应特性的影响[J]．西北植物学报，2015，35(6)：1222－1228.

[15] 刘婷婷，陈道钳，王仕稳，等．不同品种高粱幼苗在干旱复水过程中的生理生态响应[J]．草业学报，2018，27(6)：100－110.

[16] 刘凯强，刘文辉，贾志锋，等．干旱胁迫对'青燕1号'燕麦器官生长及水分利用效率的影响[J]．草地学报，2020，28(6)：1552－1562.

[17] 何建社，张利，刘千里，等．岷江干旱河谷区典型灌木对干旱胁迫的生理生化响应[J]．生态学报，2018，38(7)：2362－2371.

[18] 钟悦鸣，董芳宇，王文娟，等．不同生境胡杨叶片解剖特征及其适应可塑性[J]．北京林业大学学报(自然科学版)，2017，39(10)：53－61.

[19] Liu C C, Liu Y G, Guo K, et al. Exploitation of patchy soil water resources by the clonal vine *Ficus tikoua* in karst habitats in southwestern China[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33: 93－102.

[20] 张克斌，王锦林，侯瑞萍，等，杨晓晖．我国农牧交错区土地退化研究——以宁夏盐池县为例[J]．中国水土保持科学，2003，1(1)：85－90.

[21] 任继周．草业科学研究方法[M]．北京：中国农业出版社，1998：2－16.

[22] 李合生．植物生理生化实验原理和技术[M]．北京：高等教育出版社，2000：164－197.

[23] 曾俊，苏俊黎．一种比较实用的氨基酸定量测定方法——茚三酮法[J]．饲料工业，2003，24(10)：42－43.

[24] 邹琦．植物生理学实验指导[M]．北京：中国农业出版社，2000：11－174.

[25] 王爱国，罗广华．植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系[J]．植物生理学通讯，1990，(6)：55－57.

[26] 鲍士旦．土壤农化分析(第三版)[M]．北京：中国农业

出版社,2000:11－18.

[27] 邹慧,高光耀,傅伯杰. 干旱半干旱草地生态系统与土壤水分关系研究进展[J]. 生态学报,2016,36(11):3127－3136.

[28] White D O, Turner N C, Galbraith J H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric Eucalyptus species planted in Mediterranean southwestern Australia [J]. Tree Physiology,2000,20:1157－1165.

[29] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought－from genes to the whole plant [J]. Functional Plant Biology,2003,30:239－264.

[30] 吴敏,张文辉,周建云,等. 干旱胁迫对栓皮栎幼苗细根的生长与生理生化指标的影响[J]. 生态学报,2014,34(15):4223－4233.

[31] Fiala R, Fialová I, Vaculík M, *et al*. Effect of silicon on the young maize plants exposed to nickel stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2021,166:645－656.

[32] 李娜. 画眉草在温度和水分胁迫下的适应性研究[D]. 重庆:西南大学,2010.

[33] 徐世健,李新荣. 两种沙生植物抗旱生理指标的比较研究[J]. 西北植物学报,2000,20(2):224－228.

[34] 王佺珍,刘倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报,2017,37(16):5565－5577.

[35] 闻志彬,张明理. 干旱胁迫对2种光合类型C_4荒漠植物叶片光合特征酶和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(9):1815－1822.

[36] Galmés J, Abadía A, Medrano H, *et al*. Photosynthesis and photoprotection responses to water stress in the wild－extinct plant Lysimachia minoricensis[J]. Environmental and Experimental Botany,2007,60:308－317.

[37] 张彦妮,雷蕾,夏斌. 干旱胁迫及复水对黄连花幼苗生长和生理特性的影响[J]. 草业科学,2016,33(9):1681－1689.

Physiological and ecological characteristics of *Agropyron mongolicum* in desert steppe under heterogeneous habitats

LIU Meng-ge[1], SHI Jia-mei[1], XU Dong-mei[1,2*], WANG Xing[1], LIU Wan-long[1], TIAN Xiao-long[1]

(1. *College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*; 2. *Ningxia Grassland and Animal Husbandry Engineering Technology Research Center, Yinchuan*750021, *Ningxia, China*)

Abstract:【Objective】In order to understand the physiological and ecological adaptation strategies of *Agropyron mongolicum* to habitat changes.【Method】Four kindsof habitat communities whichdominated by *Agropyron mongolicum* in Dashuikeng Town, Qingshan Town, Huamachi Town and Gaoshawo Town in Yanchi County, Ningxia were selected. The response of osmotic regulatory substances and antioxidant enzyme system of *Agropyron mongolicum* to heterogeneous habitats were studied.【Result】The soluble sugar content, proline content, peroxidase activity, leaf relative water content, chlorophyll content and amino acid content of *Agropyron mongolicum* in different habitats in desert steppe changed significantly with the change of habitat ($P<0.05$).【Conclusion】Under the conditions of limited soil water and nutrient resources, *Agropyron mongolicum* population could adapt to the changing habitat through synergistic and tradeoff effects such as accumulation of osmotic regulation substances and activation of antioxidant system. Under the natural habitat conditions of Dashuikeng and Huamachi, the *Agropyron mongolicum* could resist stress by enhancing the activity of peroxidase. Under the harsher environmental conditions in Gaoshawo town and Qingshan township, the *Agropyron mongolicum* adapted to stress mainly through accumulation of proline or soluble sugar.

Key words: heterogenous habitat; *Agropyron mongolicum*; osmotic regulating substance; antioxidant system