

唐古特白刺叶片形态与营养物质含量的地域采样点差异

郭璐^{1,2},赵杏花^{1,2},白凤³,闫伟红⁴,左合君^{1,2*}

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 荒漠生态系统保护与修复国家林业和草原局重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 4. 中国农业科学院草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:掌握唐古特白刺叶片形态及营养物质含量的地域分异规律,有利于白刺资源的保护及利用。为探讨白刺叶片形态与营养物质含量在地域、采样点间的差异,选择荒漠化草原(乌拉特中旗)、草原化荒漠(磴口)、典型荒漠(民勤)不同采样点分布的唐古特白刺为对象,测定叶片的长度、宽度、长宽比、厚度,以及叶片中粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖、还原性糖、粗灰分、粗纤维6种物质的含量。结果表明,白刺叶片形态对环境变化响应敏感,不同地域、生境间差异明显。不同地域相同生境的白刺叶片中粗蛋白与可溶性糖含量存在显著性差异。干旱指数低的区域,白刺长势良好,叶片增长、增厚,营养物质含量高;生长地土壤具明显盐渍化现象时,叶面积减小、长度缩短、厚度增加,可利用的营养物质含量降低,灰分和粗纤维含量增高。

关键词:唐古特白刺;叶;形态;营养物质;地域

中图分类号:S793.9

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2022)01-0041-06

Regional Differences in Morphological Characters and Nutrient Contents in the Leaves of *Nitraria tangutorum*

GUO Lu^{1,2}, ZHAO Xing-hua^{1,2}, BAI Feng³, YAN Wei-hong⁴, ZUO He-jun^{1,2*}

(1. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China; 2. Key Laboratory of Desert Ecosystem Protection and Restoration, National Forestry and Grassland Administration, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China; 3. College of Water and Soil Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 4. Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China)

Abstract: *Nitraria tangutorum* is one of the dominant species occurring in arid and semi-arid regions of China. It is beneficial to the conservation and utilization of *N. tangutorum* resources to master its regional variations of leaf morphology and nutrient contents. In order to explore the differences in leaf morphology and nutrient content among geographical regions and habitats, samples of *N. tangutorum* were collected from different habitats of desertification steppe (Wulatezhong County), steppe desert (Dengkou) and typical desert (Minqin). The length, width, ratio of length to width and thickness of the leaves and the contents of crude protein, crude fat, soluble sugar, reducing sugar, crude ash and crude fiber in the leaves were determined. The results showed that the leaf morphology of *N. tangutorum* was sensitive to environmental changes and had obvious differences among different geographical regions and habitats. Significant differences were found in the contents of crude proteins and soluble sugar in the leaves collected from different locations with similar habitats. In the regions with low drought index, the plants of *N. tangutorum* grew well with long and thick leaves and rich in nutrients. While in the regions with significant salinization, the leaf area and length decreased, and the thickness increased, and the leaf available nutrients decreased, the

收稿日期:2021-03-01 修回日期:2021-04-20

基金项目:沙地生态系统近自然修复技术研究及产业化示范(2019ZD007);内蒙古自治区教育厅自然科学基金项目(NJZY17079)。

第一作者:郭璐。研究方向:荒漠化防治。E-mail:guolu630925@163.com

*通信作者:左合君,教授,博士生导师。研究方向:荒漠化领域。E-mail:zuohj@126.com

contents of leaf ash and crude fiber increased.

Key words: *Nitraria tangutorum*; leaf; morphological character; nutrient, geographical region

唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)又名白刺(以下称白刺),是白刺科(Nitrariaceae)白刺属(*Nitraria*)落叶灌木,属潜水旱生植物,是半固定沙地、固定沙地、低湿盐碱滩地乃至荒漠草原采样点上的主要建群种之一,多形成白刺沙堆^[1]。白刺能够适应干旱环境,同时具有耐盐碱的生理特性,是我国西北荒漠的优势种之一,在我国防沙治沙领域发挥着重要作用^[2]。作为优质沙生植物资源,白刺果实已被很好地开发利用^[3-5],幼嫩枝叶的利用价值也越来越受到关注。对白刺叶片的成分进行测定后发现:白刺叶片蛋白含量高,纤维含量低,饲用品质优良^[6-7]。利用白刺耐旱耐瘠薄、扦插易成活特性,可以将其引种于沙害严重的地区,作为沙地生态系统近自然修复优选的乡土树种,在生态修复的同时,能兼顾资源利用,为保护生态环境和提高荒漠化地区的经济效益发挥作用。

不同地域水热条件不同,这对地带性植被、地带性土壤的形成起决定性作用^[8]。白刺在我国西北地区的荒漠化草原、草原化荒漠、典型荒漠广泛分布,但不同地域的白刺叶片在形态、结构、药用成分等方面均存在显著差异^[9-11];不同地域白刺果实中的药用成分也存在显著差异^[12]。研究还发现,白刺叶片中营养物质含量随季节有相应变化^[13-14]。叶片是植物进行光合作用的主要场所,其形态结构发生变化,必然导致生理功能的差异^[15-16]。本研究在对不同地域白刺叶片形态结构研究的基础上,探讨地域差异对白刺叶片营养物质积累的影响,以期对白刺优良单株选育、资源开发利用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取暖温带荒漠草原亚带(乌拉特中旗)、暖温带草原化荒漠亚带(磴口县)、暖温带典型荒漠亚带(民勤县)3个有白刺天然分布的地域作为采样区,在各采样区选取采样点进行采样。采样区具体位置及环境参数见表1。

荒漠化草原的采样区位于乌拉特中旗(W),属于乌拉特荒漠草原,地带性土壤为棕钙土,地带性植被以矮小的旱生灌木和多年生草本为主,局部草原植被退化,出现了沙丘和斑块状季节性过水滩地。采样地生境有山前平原(WSQ)、半固定沙丘(WBG)、盐碱滩地(WYJ)。常见植物有白刺、红砂(*Reaumuria songarica*)、沙生针茅(*Stipa glareosa*)、无芒隐子草

(*Cleistogenes songorica*)、蒙古韭(*Allium mongolicum*)、多裂骆驼蓬(*Peganum multisectum*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)等。

草原化荒漠的采样区位于巴彦淖尔市磴口县(D),是草原向荒漠的过渡区域,属于半荒漠,地带性土壤为漠钙土。自然植被以旱生、强旱生的灌木为主,局部受河套灌区的影响,存在隐域性低湿地。采样地生境有半固定沙丘(DBG)、丘间低地(DQJ)以及盐碱滩地(DYJ)。常见植物有白刺、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、霸王(*Sarcozygium xanthoxylon*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)等灌木和沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、黄花补血草(*Limonium aureum*)等旱生草本。

典型荒漠的采样区位于甘肃省民勤县(M),地带性土壤为灰棕荒漠土,多见非地带性风沙土,自然植被以强旱生灌木为主。采样地生境有固定沙丘(MGD)、半固定沙丘(MBG)。常见植物有白刺、大白刺(*N. roborowskii*)、梭梭、红砂、沙蓬、沙竹(*Psammochloa mongolica*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等强旱生植物种。

1.2 材料采集

2018年8月下旬进行采样,每种采样点选取3丛无病虫害、长势良好的白刺植株,各灌丛间距离均大于1 km。在灌丛1/2的高度位置处,东、西、南、北4个方位分别选取5枝健壮的1年生枝条进行样品采集。在选取的每个枝条长度中部位置处选取20枚白刺叶片,采摘后迅速测定形态特征,每个采样点用于形态特征测量的叶片共计1 200枚。将采摘下的叶片置于保鲜箱内低温保存带回室内,置于70℃烘箱内烘干至恒重后粉碎,过80~100目筛后用于营养物质含量测定。

1.3 测定方法

1.3.1 形态特征测定 用数显游标卡尺(测量精度0.01 mm)测定白刺叶片长度(即中脉位置处长度)、叶片宽度(垂直于中脉最宽处)、叶片厚度,并计算叶片的长宽比。

1.3.2 营养物质含量测定 粗蛋白含量采用凯氏定氮法进行测定;粗脂肪含量利用粗脂肪测定仪进行测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法进行测定;还原性糖含量采用3,5-二硝基水杨酸法测定;粗灰分

的测定是通过将样品置于电炉上灼烧至无炭粒后,再放置于控制温度在 550 ± 20 °C 的马弗炉内灼烧 4 h 后称重获得;粗纤维的测定是通过将样品进行酸洗、碱洗,再经有机溶剂除去可溶物,高温灼烧除去矿物质,剩余物质即为粗纤维^[17]。

1.4 数据处理

通过 Excel 2010 软件进行数据初步统计,再利用 IBM SPSS Statistics 24.0 软件进行 One-way ANOVA 分析。

表 1 采样区位置及环境参数

Table 1 Location of study area and environmental parameters

环境参数	W	D	M
经度	107°32'03"	106°56'38"	103°38'16"
纬度	42°18'15"	40°20'04"	39°10'27"
年均温度/°C	6.6	9.8	9.6
多年平均降水量/mm	238.1	150.6	125.5
多年平均蒸发量/mm	1 546.5	2 380.6	2 581
干旱指数	6.5	15.8	20.6
年最热月温度平均值/°C	23.8	26.0	24.9
年最冷月温度平均值/°C	-13.2	-9.3	-8.6
气候类型	大陆性干旱气候	温带大陆性季风气候	温带大陆性干旱气候
植被类型	荒漠化草原	草原化荒漠	典型荒漠

注:气象数据来自乌拉特中旗气象站、磴口气象站、民勤气象站。

2 结果与分析

2.1 白刺叶片形态特征地域分异规律

2.1.1 不同地域白刺叶片形态特征分析 对不同地域半固定沙地的白刺叶片形态特征进行分析(表 2),不同地域白刺叶片的长度、厚度均具有显著差异,且变化趋势一致,大小关系为采样区 $W > D > M$;白刺的叶片宽度在采样区 M 最宽,为 6.37 ± 0.07 mm,与采样区 W 的白刺叶宽无显著差异,两者显著大于采样区 D 的白刺叶宽;不同采样区的叶片长宽比均存在显著差异,大小关系为采样区 $D > W > M$ 。研究结果说明,随着干旱程度的增加,白刺叶片呈变短、变薄的趋势。

2.1.2 不同采样点白刺叶片形态特征分析 8 个采样点的白刺叶片形态特征见表 3,叶片长度在不同采样点间存在差异,采自 WBG 的叶片最长,为 (27.79 ± 0.43) mm,与 WYJ 无显著差异,与其他采样点叶片均有显著差异,采自 MBG 的叶片长度最小,为 (19.84 ± 0.21) mm;叶长在相同地域的不同采样点间均存在显著差异,整体来说,采样区 W 的

白刺叶片长度均大于采样区 D 和 M。叶宽在不同采样点间存在差异,采样点 MBG 的叶片最宽,为 (6.37 ± 0.07) mm,除与 WBG 不存在显著差异外,与其他采样点均具有显著差异,采自 DYJ 的叶片最窄,为 (5.00 ± 0.15) mm;采样区 W 的各采样点间白刺叶宽不存在显著差异,采样区 D 和 M 的各采样点间叶宽存在显著差异。叶片长宽比以 DBG 最大,为 4.80 ± 0.03 ,WYJ 次之,两者之间无显著差异,采样点 MBG 最小,为 3.14 ± 0.03 ,除与 DYJ 无显著差异外,显著低于其他采样点,各采样点间叶片长宽比的大小关系为:DBG、WYJ、WSQ、WBG、DQJ、DYJ、MGD、MBG,相同地域的不同采样点间除 WSQ 和 WBG 无显著差异以外,其他采样点间均存在显著差异。叶片厚度在不同采样点间存在差异,采自 WBG 的叶片厚度显著大于其他采样点,为 (0.78 ± 0.01) mm,采样点 MGD 的白刺叶最薄,为 (0.55 ± 0.01) mm,与采样点 MBG 无显著差异;采样区 W 的各采样点间叶片厚度均存在显著差异,采样区 D 的 DYJ 叶片厚度显著大于 DBG 和 DQJ,采样区 M 的不同采样点间厚度不存在显著差异。

表 2 不同地域白刺叶片形态特征差异性分析

Table 2 Leaf characteristics of *N. tangutorum* in different geographical regions(mean \pm SE)

采样区	叶长/mm	叶宽/mm	长宽比	叶厚/mm
W	$27.79 \pm 0.43a$	$6.15 \pm 0.10a$	$4.58 \pm 0.04b$	$0.78 \pm 0.01a$
D	$24.33 \pm 0.18b$	$5.13 \pm 0.04b$	$4.80 \pm 0.03a$	$0.63 \pm 0.01b$
M	$19.84 \pm 0.21c$	$6.37 \pm 0.07a$	$3.14 \pm 0.03c$	$0.57 \pm 0.01c$

注:同列不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。

综上所述,白刺叶片形态具有较强的可塑性,随着环境干旱程度的加剧,白刺叶片呈变短、变薄的趋势;在盐碱滩地中,水分充足,白刺叶片可正常吸收

水分,叶片增厚。整体来看,采自 W 的白刺叶片在长度和厚度上均具有明显优势,而采样区 M 的叶长和叶厚处于三地间最低水平。

2.2 白刺叶片营养物质含量的地域分异

2.2.1 白刺叶片营养物质含量的地域分异 由表4可见,不同地域白刺叶片在粗蛋白与可溶性糖的含量上存在显著差异,其他物质含量间无显著差异。采样区M的叶片中粗蛋白与可溶性糖含量均为最低,且显著低于其他地域;采自W的叶片中粗蛋白与可溶性糖的含量均表现为最高,分别占叶片干重的33.30%、22.04%,采样区D的叶片与之无显著差异。粗脂肪、还原性糖、粗灰分和粗纤维的含量以采样区D最高,分别占叶片干重的3.41%、1.81%、19.06%和7.60%。研究结果表明,白刺营养物质的积累,特别是粗蛋白和可溶性糖的积累与气候因素有密切关系,气候越干旱,越不利于二者的积累。

2.2.2 不同采样点白刺叶片营养物质含量分析 8个采样点的白刺叶片中营养物质含量分析见表5,采自WSQ的叶片中粗蛋白含量最高,占叶片干重的33.79%,与采样点WYJ、DYJ、MBG存在显著差异;相同地域间盐碱生境的白刺叶片中粗蛋白的含量显著低于其他生境。整体来看,环境的干旱程度

越高,叶片中粗蛋白的含量越低,盐碱化会明显影响叶片中的粗蛋白含量的累积,采样点WYJ与DYJ的粗蛋白含量显著低于相同地域的其他采样点。采自DYJ的叶片粗脂肪含量最高,占叶片干重的3.71%,DQJ的粗脂肪含量最低,占叶片干重的2.65%,两者差异性显著,其他采样点介于两者之间,无显著差异。采自WYJ的叶片可溶性糖含量最高,占叶片干重的22.81%,显著高于采样区D与M的各种采样点,采样点DYJ的叶片可溶性糖含量最低,占叶片干重的17.59%;相同地域的不同采样点间可溶性糖含量无显著差异,整体来看,采样地W的各生境中,白刺叶片可溶性糖的含量普遍较高,高于另外2个采样地的各采样点。采自WYJ的叶片中还原性糖含量最高,为叶片干重的2.09%,与采样区W的其他采样点存在显著差异,采样区D和M的各采样点间还原性糖含量无显著差异。采自DYJ的叶片中粗灰分含量最高,与采样点WSQ、MGD存在显著差异,与其他采样点差异不显著;各采样区的不同采样点间白刺叶片中粗灰

表3 不同采样点的白刺叶片形态特征

Table 3 Leaf characteristics of *N. tangutorum* in different sampling locations(mean±SE)

采样点	叶长/mm	叶宽/mm	长宽比	叶厚/mm
WYJ	27.20±0.22 Aa	5.89±0.06 Ab	4.73±0.04 Aa	0.71±0.01 Bb
WSQ	26.06±0.28 Bb	5.88±0.09 Ab	4.58±0.05 Bb	0.62±0.01 Cc
WBG	27.79±0.43 Aa	6.15±0.10 Aab	4.58±0.04 Bb	0.78±0.01 Aa
DBG	24.33±0.18 Bd	5.13±0.04 Bd	4.80±0.03 Aa	0.63±0.01 Bc
DQJ	24.96±0.26 Ac	5.61±0.07 Ac	4.55±0.05 Bb	0.61±0.01 Bc
DYJ	20.09±0.48 Ce	5.00±0.15 Bd	4.12±0.12 Ce	0.71±0.01 Ab
MGD	23.75±0.22 Ad	5.98±0.07 Bb	4.09±0.05 Ac	0.55±0.01 Ad
MBG	19.84±0.21 Be	6.37±0.07 Aa	3.14±0.03 Bd	0.57±0.01 Ad

注:同列不同大写字母表示相同地域不同采样点间存在显著差异,同列不同小写字母表示不同采样点间存在显著差异($P<0.05$)。下同。

表4 不同地域白刺叶片营养物质含量差异性分析

Table 4 Leaf nutrient contents of *N. tangutorum* from different geographical regions(mean±SE)

采样区	粗蛋白	粗脂肪	可溶性糖	还原性糖	粗灰分	粗纤维
W	33.30±0.32a	2.83±0.14a	22.04±0.00a	1.17±0.26a	18.89±1.10a	7.13±1.40a
D	28.69±1.86a	3.41±0.45a	19.80±1.30ab	1.81±0.16a	19.06±1.31a	7.60±0.97a
M	22.32±0.01b	3.26±0.01a	18.69±1.11b	1.79±0.23a	17.80±0.01a	6.26±0.00a

表5 不同采样点白刺叶片营养物质含量

Table 5 Nutrient contents in the leaves of *N. tangutorum* from different sampling locations(mean±SE)

采样点	粗蛋白	粗脂肪	可溶性糖	还原性糖	粗灰分	粗纤维
WYJ	27.71±2.36 Bbc	2.88±0.24 Aab	22.81±0.73 Aa	2.09±0.01 Aa	17.97±1.08 Aab	6.27±0.39 Ac
WSQ	33.79±1.96 Aa	2.94±0.24 Aab	20.96±1.12 Aab	0.95±0.19 Bc	17.32±1.25 Ab	6.99±0.78 Abc
WBG	33.30±0.32 ABab	2.83±0.14 Aab	22.04±0.00 Aab	1.17±0.26 Bbc	18.89±1.10 Aab	7.13±1.40 Abc
DBG	28.69±1.86 Aab	3.41±0.45 ABab	19.80±1.30 Abcd	1.81±0.16 Aab	19.06±1.31 Aab	7.60±0.97 Bbc
DQJ	31.91±2.88 Aab	2.65±0.10 Bb	18.73±1.12 Acd	1.94±0.40 Aa	18.71±3.15 Aab	7.50±0.24 Bbc
DYJ	19.18±0.01 Bcd	3.71±0.02 Aa	17.59±0.01 Acd	1.63±0.01 Aabc	21.98±0.01 Aa	9.96±0.01 Aa
MGD	27.72±0.52 Aabc	2.95±0.11 Aab	19.83±0.01 Abcd	1.41±0.18 Aabc	16.48±0.59 Ab	8.54±0.31 Aab
MBG	22.32±0.01 Acd	3.26±0.01 Aab	18.69±1.11 Acd	1.79±0.23 Aabc	17.80±0.01 Aab	6.26±0.00 Abc

分的含量无显著差异。采自 DYJ 的叶片中粗纤维含量最高,且显著高于采样区 D 的其他采样点,其他采样区的各采样点间粗纤维的含量无显著差异。

粗蛋白与可溶性糖的含量在白刺叶片干重中占比较大,且两者含量越高,白刺枝叶作为饲料的营养价值越高,同时,粗纤维含量越低,适口性越好,饲用品质越高。因此,干旱程度越低采样点生长的白刺营养价值越高,饲用品质越好,具有开发潜力;但是盐碱中生长的白刺较相同地域的其他采样点而言,营养价值降低,适口性也变差。

3 结论与讨论

白刺叶片形态对地带性变化响应敏感,随着地域从荒漠草原、半荒漠到典型荒漠过渡,干旱程度逐渐加剧,白刺叶片长度呈现出明显变短、变薄的趋势;盐碱生境中,白刺叶片面积减小、长度缩短,厚度却有所增加。植物在不同环境条件下表型与功能都具有一定的可塑性^[18]。叶片作为植物与环境之间物质与能量交换的主要营养器官,对环境变化非常敏感,并能够及时作出响应^[9,19]。水分、温度等环境因子的变化通常会引起叶片的形态结构产生变化^[20]。温度变化会对植物的养分积累产生影响,但影响力度小于水分利用效率对其的影响^[21]。N. P. A. Huner *et al.*^[22] 的研究结果表明,低温环境会使叶片变厚,叶面积缩小,这与本研究的结果一致,采样区 W 的年均温度明显低于其他地域,叶片厚度也显著低于其他地域。降水是影响白刺生长关键的环境因子,在年均降水量小于 200 mm 的草原化荒漠、典型荒漠,白刺对水分的利用策略为保守型,可高效利用水分^[23]。本研究采样区 M 最为干旱,D 居中,W 的水分条件较好,采样区 W 和 D 的年均降水量分别是 M 的 1.9 倍和 1.2 倍,但是 M 的年均蒸发量却最大,分别是 W 和 D 的 1.7 倍和 1.1 倍。干旱程度加剧,植物所能吸收的水分越少,不利于白刺叶片的生长,环境越干旱,长度生长所受的限制较宽度更大^[24];随着蒸腾作用的加剧,叶片中的水分散失越多,叶肉细胞中的水分含量越少,细胞呈失水状态,叶片也就越薄^[11]。

随着地域由荒漠草原、半荒漠到典型荒漠过渡,降水量降低,蒸发量增大,气候干旱程度加剧,白刺叶片的粗蛋白和可溶性糖含量呈明显降低之势。蛋白质的积累与土壤中的氮元素含量有关,随着采样地从荒漠化草原、草原化荒漠再向典型荒漠的过渡,地带性土壤依次为棕钙土、漠钙土、灰棕荒漠土,有机质含量不断降低,土壤养分愈发贫瘠^[8],因此,3 个不同地域白刺叶片中粗蛋白的含量也相应呈降低

趋势。生长地天然降水会明显影响白刺的生长状况,较好的水分条件会提高白刺叶片的光合作用效率,利于营养物质的积累^[25-26]。3 个地域间采样区 W 的降水量最大,因此,在营养物质的累积方面占优势地位,白刺叶片中粗蛋白与可溶性糖的含量以采样区 W 最高;采样区 D 位于磴口县,属黄河灌区,地下水埋深浅,水量充沛,黄河水很大程度上补给土壤水与地下水,白刺生长所需水分充足,粗脂肪、还原性糖的含量均以采样区 D 最高^[27]。土壤盐碱化会使得植物叶片中叶绿素含量发生变化,同时可溶性蛋白、可溶性糖等具有渗透调节功能的物质也会发生改变^[28-29],最终导致叶片营养物质的含量产生差异。本研究中,采样点 DYJ 土壤盐渍化程度高,周围盐碱斑明显,白刺具有耐盐碱特性,细胞渗透压高,盐碱环境下可以正常吸收土壤水分,但这样的环境条件不利于白刺叶片中营养物质的积累,采样点 DYJ 的营养物质含量与干旱地区基本一致,但灰分与粗纤维含量显著高于其他采样点,说明局部地区的土壤盐渍化对叶片中营养物质的积累具有明显的抑制作用,在盐渍化程度过高的生境中生长的白刺饲用品质变差。

碳水化合物主要来源于叶片的光合积累,叶面积越大、叶肉中的含水量越高,叶片的光合效率也越高,糖分有效积累越多。翟军团^[30]的研究结果表明,叶片大小与厚度在不同水分条件下存在差异,叶片干重、相对含水量、净光合速率、蒸腾速率、可溶性糖含量与叶面积、厚度呈显著的正相关关系,水分条件好的区域叶面积、厚度呈增大趋势,叶片内相对含水量增加,干物质积累量、可溶性糖含量增多。本研究的结果与其一致,荒漠化草原(W)的水分状况最好,对应的叶片长势最好,外观呈深绿色,长度最长、厚度大,叶片积累的蛋白质、可溶性糖含量均表现为最高。

参考文献:

- [1] 马毓泉. 内蒙古植物志 [M]. 2 版. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1990: 415-416.
- [2] 张丽. 3 种白刺对盐胁迫的响应及耐盐机理研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [3] 常兆丰, 李易珺, 张剑挥, 等. 民勤荒漠区 4 种植物的防风固沙功能对比分析 [J]. 草业科学, 2012, 29(3): 358-363.
CHANG Z F, LI Y J, ZHANG J H, *et al.* Comparison on functions of wind break and sand fixation four plant species in Minqin desert [J]. Pratacultural Science, 2012, 29(3): 358-363. (in Chinese)
- [4] 徐先英, 严平, 郭树江, 等. 干旱荒漠区绿洲边缘典型固沙灌木的降水截留特征 [J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 141-145.
- [5] 张爱军, 沈继红, 石红旗. 白刺果肉和种子的营养成分分析 [J].

- 中国食品添加剂,2006(5):105-106,109.
- [6] 武志博,邓娟,田永祯,等.四种白刺属植物叶饲用品质分析及评价[J].甘肃农业大学学报,2017,52(6):97-100.
- [7] 樊光辉,马玉林.青海4种灌木的营养成分测定与分析[J].西北林学院学报,2010,25(6):138-139.
FAN G H, MA Y L. Proximate nutrients of 4 shrubs in Qinghai [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6):138-139. (in Chinese)
- [8] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队.内蒙古植被[M].北京:科学出版社 1985:10-14.
- [9] 郭婧宇.三种沙生植物叶形态、结构差异性及环境分异[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018
- [10] 白潇,李毅,苏世平,等.不同居群唐古特白刺叶片解剖特征对采样点的响应研究[J].西北植物学报,2013,33(10):1986-1993.
- [11] 赵杏花,李旭红,郭璐,等.唐古特白刺叶片形态结构的地域环境分异[J].干旱区资源与环境,2020,34(9):143-150.
ZHAO X H, LI X H, GUO L, *et al.* Regional and environmental differentiation of leaf morphology and anatomical of *Nitraria tangutorum* [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(9):143-150. (in Chinese)
- [12] 白明生,李国旗,陈彦云.白刺药用有效成分含量的地域性研究[J].西北林学院学报,2008,23(6):147-150.
BAI M S, LI G Q, CHEN Y Y. Regional differences in the contents of active medicinal components in *Nitraria* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(6):147-150. (in Chinese)
- [13] 任运涛,张晨曦,尚振燕,等.阿拉善荒漠区5种植物叶片性状的季节动态[J].干旱区研究,2017,34(4):823-831.
- [14] 刘利平.内蒙古白刺属四种植物营养成分分析及其评价[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [15] 王常顺,汪诗平.植物叶片性状对气候变化的响应研究进展[J].植物生态学报,2015,39(2):206-216.
WANG C S, WANG S P. A review of research on responses of leaf traits to climate change [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2015, 39(2):206-216. (in Chinese)
- [16] 靳莎,闫淑君,黄柳菁,等.植物叶功能性状间的权衡研究进展[J].四川林业科技,2019,40(5):96-103.
- [17] 王洪荣.饲料检测与分析实验技术[M].南京:东南大学出版社,2014.
- [18] 黄迎新,赵学勇,张洪轩,等.沙米表型可塑性对土壤养分、水分和种群密度变化的响应[J].应用生态学报,2008,19(12):2593-2598.
HUANG Y X, ZHAO X Y, ZHANG H X, *et al.* Responses of *Agriophyllum squarrosum* phenotypic plasticity to the changes of soilnutrient and moisture contents and population density [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12):2593-2598. (in Chinese)
- [19] 李永华,卢琦,吴波,等.干旱区叶片形态特征与植物响应和适应的关系[J].植物生态学报,2012,36(1):88-98.
- [20] 李芳兰,包维楷.植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J].植物学通报,2005,22(Supp. 1):118-127.
LI F L, BAO W K. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2005, 22(Supp. 1):118-127. (in Chinese)
- [21] SUN W, LI S W, ZHANG Y J, *et al.* Effect of long-term experimental warming on the nutritional quality of alpine meadows in the northern Tibet [J]. Journal of Resources and Ecology, 2020, 11(5):516-524.
- [22] HUNER N P A, PALTA J P, LI P H, *et al.* Anatomical changes in leaves of puma rye in response to growth at cold-Hardening Temperatures [J]. Botanical Gazette, 1981, 142(1).
- [23] 周雅聘,陈世苹,宋维民,等.不同降水条件下两种荒漠植物的水分利用策略[J].植物生态学报,2011,35(8):789-800.
- [24] 李永华,吴波,卢琦,等.白刺叶片形态变化对叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 的影响[J].林业科学,2012,48(3):25-30.
LI Y H, WU B, LU Q, *et al.* Variation in leaf shapes of *Nitraria* species and effect on leaf $\delta^{13}\text{C}$ [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(3):25-30. (in Chinese)
- [25] 何季,鲍芳,吴波,等.典型荒漠植物白刺叶绿素荧光特性对模拟增雨的响应[J].西北林学院学报,2020,35(2):55-63.
HE J, BAO F, WU B, *et al.* Response of chlorophyll fluorescence characteristics of a typical desert plant species *Nitraria tangutorum* to simulated rainfall enhancement [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(2):55-63. (in Chinese)
- [26] 何季,吴波,贾子毅,等.白刺光合生理特性对人工模拟增雨的响应[J].林业科学研究,2013,26(1):58-64.
- [27] 王葆芳,杨晓晖,江泽平.引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J].干旱区研究,2004,21(2):139-143.
- [28] 胡涛,张鸽香,郑福超,等.植物盐胁迫响应的研究进展[J].分子植物育种,2018,16(9):3006-3015.
HU T, ZHANG G X, ZHENG F C, *et al.* Research progress in plant salt stress response [J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(9):3006-3015. (in Chinese)
- [29] 孙楠,张怡春,赵眉芳.长白落叶松人工林根系生物量及其垂直分布特征[J].森林工程,2021,37(6):17-24.
SUN N, ZHANG Y C, ZHAO M F. Root biomass and vertical distribution characteristics of larch plantation [J]. Forest Engineering, 2021, 37(6):17-24. (in Chinese)
- [30] 翟军团.不同土壤水分条件下胡杨异形叶结构型和功能性状的比较研究[D].阿拉尔市:塔里木大学,2020.