

白刺属植物现状、生态功能及保护策略

王彦阁¹, 杨晓晖², 于春堂², 胡哲森¹

(1. 福建农林大学, 福州 350002; 2. 中国林业科学研究院林研所, 北京 100091)

摘要:对白刺属植物的分类、分布、特性以及现状等方面作了系统的整理和总结,以唐古特白刺为例,从资源异质性的角度论述了其生态功能,并指出白刺沙堆的发生和发展机制对土地退化和恢复有重要意义。分析了白刺属植物退化的原因,并据此提出了相应得保护策略。

关键词:白刺属;生态功能;保护

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)03-0074-06

The Actuality, Ecological Function and Protective Measures of Genus *Nitraria*

WANG Yan-ge¹, YANG Xiao-hui², YU Chun-tang², HU Zhe-sen¹

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The classification, distribution, characteristics and actuality of genus *Nitraria* are settled and summarized through systematic studies. Taking *Nitraria tangutorum* in sand dune as an example, discussed the ecological function from the point of resource heterogeneity, and pointed out that the happening and developing mechanism of *Nitraria tangutorum* shrub have important meanings to soil degeneration and comeback. The causation of retrogression is analysed and some suggestions of protective measures are proposed according to it.

Key words: *Nitraria*; ecological function; protection

1 引言

白刺属(*Nitraria*)为蒺藜科(*Zygophyllaceae*)的一个古老小属,属于旱生或超旱生灌木或小灌木,是一个较进化的类群,属第三纪孑遗植物。广布荒漠和沙漠地域,具有高度耐盐碱、抗干旱、固沙改土的性能,常形成白刺沙堆,为抗盐碱防风固沙的优良植物。白刺沙堆的发生和发展机制以及白刺群落的维持,对土地退化和恢复有极其重要的意义。为了更好地保护和开发利用白刺属这一宝贵的荒漠植物资源,本文对白刺属植物的分类、特性、分布、现状以及保护等方面做了系统的论述和总结,并以唐古特白刺为例论述了其生态功能,以期对白刺群落稳定性维持与荒漠生态系统恢复提供科学依据。

2 白刺属植物的分类及特性

2.1 白刺属在分类系统中的地位

对于白刺属在分类系统上的位置,长期以来颇有争论。一些学者主张建立科下等级,属于蒺藜科中;不少学者根据白刺属不同方面的研究结果主张将白刺属从蒺藜科中分出,成立白刺科(*Nitrariaceae*)^[1,2,3,4,5,6,7,8,9]。这些观点到目前为止未曾达成共识。在已出版的《中国沙漠植物志》(第二卷)和《中国植物志》(第四十三卷)中均作为蒺藜科内一属。关于白刺属下的分类系统及亲缘关系,也有不少学者作了研

究和总结^[9,10,11,12]。

2.2 白刺属植物的特性

白刺属植物为落叶灌木,寿命长达 30 年以上。属多浆旱生植物,在降水量少、蒸发量大的荒漠干旱地区分布很广。种子休眠期长^[12],沙藏可打破休眠提高发芽率。主根粗壮,入土较浅;侧根发达。枝通常具刺,茎灰白色;不同植物形态差异很大,野外发现,即使相邻的植株,果实的大小、形状、颜色、味道等性状的变异也极大。属于盐土植物,稀盐并泌盐。具有耐干旱、耐高温、耐严寒、耐盐碱、耐贫瘠、抗风沙等特性。

3 白刺在我国的分布及现状

3.1 分布

白刺在我国广布于北方和西北的湖盆沙地、绿洲外围沙地、山前平原、盐渍化沙地等干旱地带,西起塔里木盆地西沿,东至东北三省的西部,南达青海共和盆地的河卡,北至准格尔盆地的北缘,大致介于东经 76°05' ~ 116°55'、北纬 35°53' ~ 45°50',中间有大距离的间断^[13]。在内蒙古、宁夏、甘肃、陕西、青海、新疆、西藏、华北、东北等地都有分布^[14]。

3.2 现状及发展趋势

由于白刺生长环境较为严酷,群落层次结构比较单一,物种较少,盖度较低,因此,种内和种间相互作用强度都不大。白刺种群空间分布格局的形成主要依赖物种的生态适

* 收稿日期:2006-06-30

基金项目:国家自然科学基金·鄂尔多斯高原北缘白刺沙堆空间格局及其生态功能(30571529)

作者简介:王彦阁(1983-),女,内蒙古人,在读硕士,研究方向为景观生态学与荒漠化防治;通讯作者:杨晓晖。

应性和繁殖对策及其与小生境斑块的耦合性,在生境没有很大扰动的前提下,是具有暂时的稳定性的^[15]。但是随着自然环境的严重恶化和人为的大幅度破坏,白刺资源量已经在逐渐的减少,在极度干旱的自然条件下,多年生的白刺地上部分逐渐老化,萌发新枝的能力随之减弱,生长衰退,结果量减少,防风固沙保土能力降低。据孙继周等(2003)研究显示,宁夏中卫沙坡头国家级自然保护区中,白刺灌丛面积减少了 7.5 hm^2 ,群落盖度下降24%,白刺大片枯死形成凸沙包^[16]。据冯金朝等(2002)对西北地区植被调查结果,50年代在民勤固定沙丘上封育面积为 $7.07 \times 10^4\text{ hm}^2$ 白刺灌丛已有64%退化^[17]。

4 白刺沙包的生态功能

由于唐古特白刺在我国分布较为广泛,且多形成白刺沙包,故有关生态功能的论述均以唐古特白刺为主。

4.1 防风固沙

白刺根系发达,分枝多,有大量的纤维组织,近地面匍匐丛生,形成低矮的灌丛株形,对多风环境具有良好的适应能力。果实含有黏液质,使其附着于沙地,生根发芽,扩展灌丛。白刺有耐沙埋的特点,萌生能力强,被沙土埋覆后能迅速产生大量不定根,从而形成新的植株,使灌丛不断扩大,形成固定和半固定的白刺灌丛沙包,可拦蓄和固定大量流沙^[18],沙包高度一般在 $1\sim 3\text{ m}$,最高可达 5 m 以上,白刺沙包小则几吨,几十吨,大则上千吨,有的单个独立,有的连绵起伏如山峦。风蚀对白刺影响较小,在严重风蚀和人为破坏的情况下,大量根系外露,仍不致死亡,可见白刺抗风蚀的能力是相当强的^[19]。由于沙埋使植株随沙包增高可形成较大的灌丛沙堆,不仅迅速地使流沙得以固定,而且还有效地降低了近地面的风速^[20],是荒漠系统良好的防风固沙植物。

4.2 保护生物多样性的功能

资源异质性(植被、土壤)是干旱生态系统的重要特征。受水分、地形地貌、土壤侵蚀、人类活动等诸多因素的影响,干旱生态系统的资源在时空分布上存在着异质性。有关干旱区植被异质性的研究始于20世纪50年代末以Worral为代表的科学家对非洲植物种群进行的研究^[21]。此后的干旱区生态系统植被两相结构理论认为两相植被格局是由高盖度的植被斑块和低盖度的土壤基质或裸地镶嵌而成^[22]。关于干旱生态系统中的土壤空间异质性,Garcia - Moya 和 Mc Kell 首次用“肥岛”这一术语来描述上述现象^[23]。由于以沙漠灌木群落的研究为最多,有时也被称为“灌木岛”^[24]。

由于白刺适应沙埋能力很强,随着地下水位下降,许多湿生系列群丛如拂子茅、赖草、芦苇等逐步衰亡,白刺在种群中的比例增大,成为荒漠植被的建群种。在干旱生态系统中形成比较稳定群落的过程中,基于斑块的资源异质性(植被、土壤)也相应地形成并发育。

白刺在荒漠上定植后,由于白刺枝条密集且带刺可有效的拦截风沙,风蚀搬运荒漠的细颗粒物在白刺下堆积,白刺无性繁殖这一属性使其更有利于在风沙沉积区生存^[25],枝条沙埋后产生不定根而形成灌丛,荒漠地表粗化和灌丛沙堆发育同时发生^[26]。同时其周围的微环境也随之发生变化,如林冠能降低雨滴的有效能量从而使入渗率的提高,水分和养分的水平运移减少^[27];沙地降水下渗率随距灌丛茎干距离的增加而迅速下降^[28];土壤水分异质性的加强又有利于植物侵入,另外土壤物理性黏粒增加、大量枯落物等

的聚集等均有利于斑块中植被的建立,使得荒漠土壤资源在景观内重新分布,斑块面积逐渐缩小,形成固定的白刺沙堆格局。

随着白刺沙堆格局的形成,土壤资源的空间异质性增加^[29]。肥岛的形成机制包括生物过程和非生物过程两大方面^[30],在白刺群落中,为了应对水分和养分的缺乏,白刺对土壤氮的利用效率提高^[31],其生长过程中发达的根系从土壤中吸收大量养分(N、P、K等),由于它枝叶茂密,能积累大量枯枝落叶和腐殖质,通过枯落物的分解将养分积累在灌层下的土壤中,一些含营养元素的水分通过干流进入冠层下的土壤中^[32]。土壤元素异质化的过程首先表现为土壤有机碳的异质化过程,土壤有机碳主要来源于枯死植物的分解,说明异质化过程首先表现为植物的异质化,植物的异质化导致土壤某些元素的异质化^[33]。白刺固定流沙的过程伴随着养分、水分异质性的加强,也伴随着微生物异质性的复杂化^[29]。同时由于土壤有机质含量的增加,导致土壤微生物的增加和土壤中氮素的增加^[34],土壤微生物的活动,植物根系呼吸作用放出的 CO_2 溶于水后形成碳酸,对土壤难溶物质的溶解起到促进作用,促进P、K、Ca盐等的溶解,全面改善土壤肥力。此外,一些昆虫、鸟类、啮齿类动物或其它动物在采食植物或利用其所形成的微生境时所带来的物流输入也有助于肥岛的形成^[35]。肥岛是土壤养分的生物运输过程大于物理运输过程所致^[36]。沙包间的裸露地表由于缺乏植被保护,在水流和风力的作用下,局地土壤风蚀和水蚀,也会引起土壤中细颗粒物质和养分的水平搬运,增加了群落和土壤物质水平分布的空间异质性^[29,35];非生物过程对肥岛形成的贡献目前尚不十分清楚,研究表明,由于灌木的存在,改变了景观内土壤侵蚀过程的分布格局,降低风力或水力在冠层下的侵蚀过程增加土壤颗粒的沉积过程,从而加速了肥岛的形成^[37]。此外,植被两相镶嵌体的形成和发展将会影响到生态系统的水分动态、养分循环以及生物间的相互作用^[38]。总体说来,植被异质性与土壤异质性之间存在正反馈效应,彼此相互促进,并且随着两者的逐渐发展,灌木冠幅下土壤肥岛的形成和灌木的扩散对于环境的扰动具有更强的抵抗力,从而逐步促进它们在生态系统中的存在^[39]。

关于资源异质性和植物群落生物多样性的关系,有学者认为物种的多样性与资源异质性呈正相关,植被的空间异质性可以提高和多样性^[40],张全发等(1995)认为群落的异质性与生态位之间是一种正向的关系,群落异质性可以增加生态位。异质性可通过对生态位数量的影响和生态位空间的亚划分来影响群落中物种的丰富度^[41]。异质性的变化可能会导致生态系统中生物多样性的丧失,它作为一种原因又作为一种结果在植物群落中广泛存在,并影响着植物群落的结构、功能及动态。荒漠化的形成可能是由异质性引起的一种反馈机制^[42]。基于上面的论述,绘制了白刺群落保护生物多样性功能机制略图(见图1)。

随着荒漠化日益严重,白刺作为荒漠生态系统的主要建群种,对其进行的科研也越来越多。开展荒漠群落建群种群维持的研究,对了解荒漠生态系统维持与演化的基本规律、进行荒漠化治理的实践活动提供科学依据。

4.3 碳汇功能

在荒漠生态系统中,绿色植物通过光合作用吸收大气中的 CO_2 合成有机物,植物枯死后枝叶等在土壤表面形成凋落物层,一部分凋落物经过腐殖化作用变成有机碳在土壤中固定,经过动物和微生物的矿化作用,部分分解产物被植物

再次利用,构成生态系统内部碳的生物循环。此外,植物光合作用固定的有机碳还有一部分通过植物自身的呼吸作用(自养呼吸)、凋落物层的异养呼吸以及土壤的呼吸代谢作用将碳重新释放到大气中,构成了系统与大气间的生物地球化

学循环过程^[43,44]。植物、凋落物和土壤腐殖质构成了生态系统系统的碳库^[45]。因此,土壤有机质(含凋落物)的分解速度和植物向土壤的输入速度是支配整个系统碳循环功能的最关键的变量。

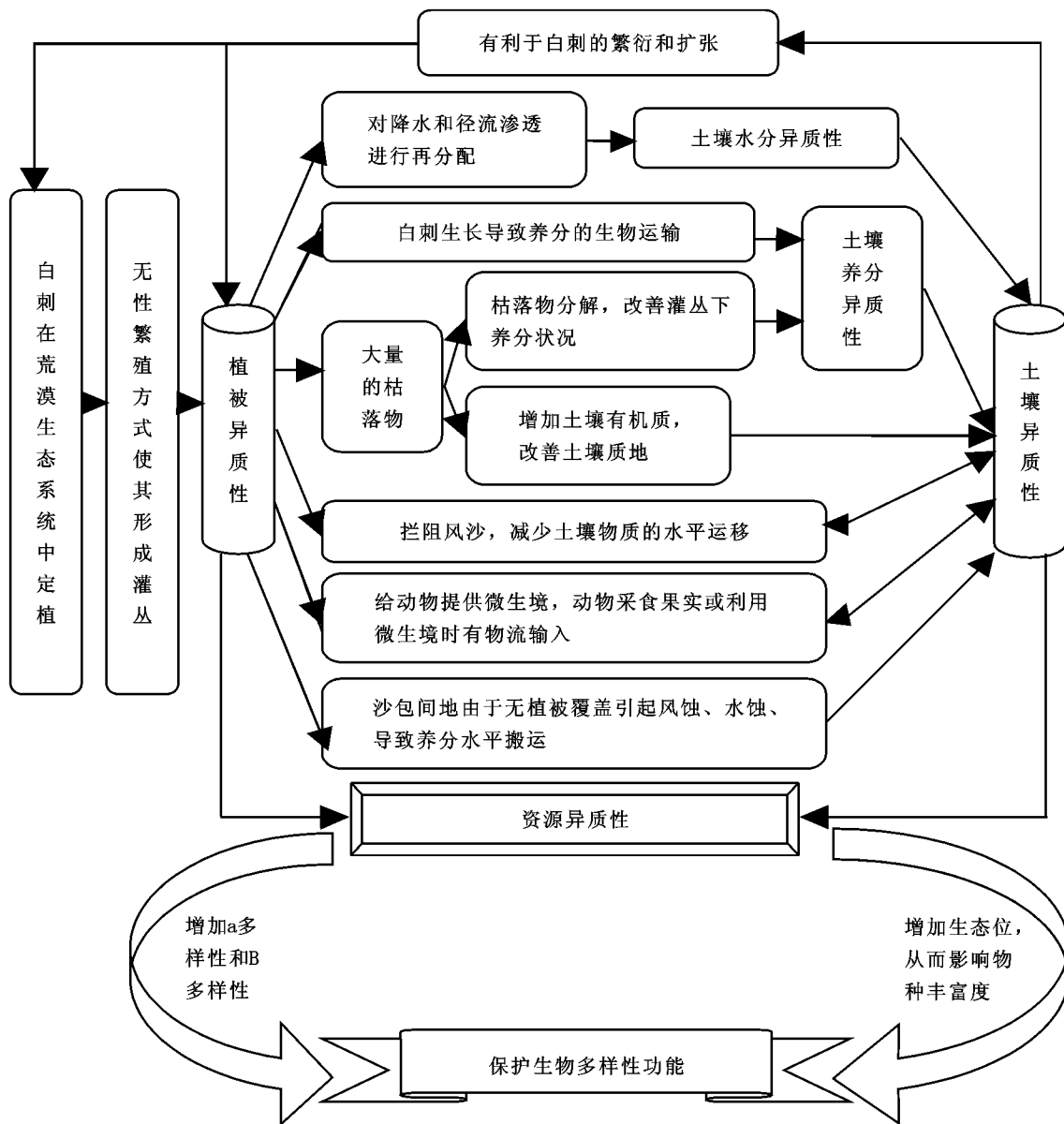


图1 白刺群落保护生物多样性功能机制

与荒漠生态系统中其它的一年生植物相比,在固定的白刺沙包格局中,白刺较高的地下生物量可以增加生态系统中碳的输入量。影响土壤呼吸的因素主要是温度、水分、土壤的养分状况、有机质含量、地表覆盖、风速等^[46]。由于白刺生长季长,植物蒸腾作用导致大量水分散失,土壤含水量降低,影响土壤微生物活性,抑制土壤呼吸,减少碳的输出^[47]。植物的枯枝落叶有较高的反射率和热辐射性,使土壤表面温度降低,影响到土壤微生物活性,影响土壤呼吸和凋落物的分解,减少呼吸碳的输出^[48,49]。同时地表枯枝落叶的存在,也影响地表的通透性,从而影响土壤呼吸;风蚀是影响中国干旱、半干旱地区脆弱生态系统碳循环的一个重要因素,且随着土壤风蚀强度的增加,表层土壤有机碳侵蚀量呈现出一种明显的逐渐增大的变化规律^[50],白刺沙包格局可以有力

的阻挡风沙,减少土壤风蚀时携带走的土壤表层有机质,从而减少生态系统中碳的输出量;土壤有机质的分解与转化过程主要取决于土壤质地,土壤中含沙量越高分解速度越快^[43],白刺沙堆的存在可以增加土壤物理性黏粒,改善土壤质地,降低有机质分解的速度,减少碳的输出。另外,白刺沙堆可有效的降低风速,降低 CO_2 从土壤向大气中的释放速度^[51]。(见图2)

近年来,大面积的白刺群落被开垦用来种田,使得土壤结构受到严重的破坏,土壤含水量降低,机械破坏、压实导致气孔数量减少,土壤有机质的数量和多样性降低;耕作使土壤通透性以及与残茬的接触增加,促进了碳的矿化^[52];同时,作物收获导致生态系统中大量有机碳的丧失。另外,农田化肥的施用影响有机质的动态和碳贮量。

据 FENG QI 等(2001),在过去的 40 年中,由于沙质荒漠化导致有机碳的净损失量为 2 168 Tg,而且如果沙质荒漠化速率保持不变,到 2030 年土壤有机碳的损失量将增加 1 243 Tg^[53]。荒漠生态系统通过对陆地生态系统生物地球

化学循环、水循环、能量交换等的影响,进而对全球气候变化产生着深刻的影响^[54]。因此,研究白刺沙堆在荒漠生态系统中的碳汇功能,有极其重要的意义。

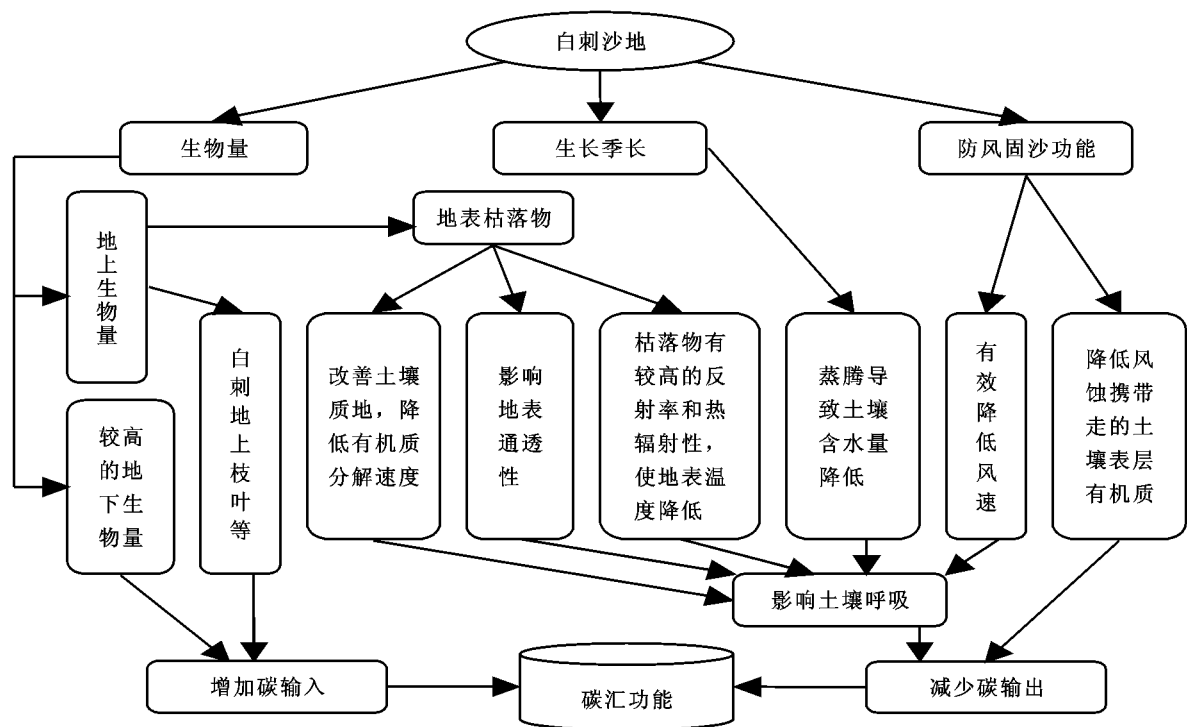


图 2 白刺沙堆的碳汇功能

5 保护以及人工促进其恢复

5.1 白刺的退化原因

白刺灌丛退化的主要原因有：作为天然灌丛草场放牧:羊和骆驼喜食白刺幼嫩枝叶,泡果白刺对骆驼有促膘作用。适当的放牧能促进白刺的更新,但牲畜过量啃食,超出了植物可能繁衍更新的阈值,会破坏生态系统结构,导致白刺群落退化^[55]。砍伐:由于人们对白刺的生态保护缺乏认识,而且目前在资源建设上还未得到充分的重视,粗放地利用天然白刺资源,大量砍挖白刺的枝杆、根,用其取暖、烧饭、做网围栏,使大片白刺根系被受到暴晒而干枯。这种直接的毁灭性的破坏,不仅使白刺群落的退化严重,也使该地区的小气候受到严重影响,生态平衡受到破坏。将白刺沙堆上含有有机物的细沙土运到农田作改良土壤的肥料。

采集寄生在白刺根上的锁阳供药用:白刺根部寄生的锁阳是良好的中药材,为了经济利益,牧民对其进行掠夺性的挖掘^[56],虽然只是作为小农经济的有益的必要的补充,但因其无序利用,导致了严重的生态后果。开荒种田:由于过度放牧和农垦,导致了水土资源的枯竭、环境的恶化,土地的生产能力降低,满足不了人口日益增长的需求,人们不得不为了生存和发展,开垦更多的土地,大面积的白刺群落被翻耕用来种田,导致白刺资源量减少,生态系统受到严重破坏。

随着农业的发展,农业灌溉用水大量超采地下水,导致地下水位大幅度下降。对于地下水位下降对白刺生长的影响观点不一,绝大多数学者认为地下水对白刺的生长至关重要^[57、58、59、60、61],地下水通过其水位埋深的变化而改变包气带水分含量和影响土壤中盐份含量的变化,进而制约地表植

物生长状况,并指出白刺适宜的地下水位埋深是 1 ~ 25 m^[57]。也有学者认为地下水位下降在近期内不是白刺生长的限制因素。以地下水位下降为主要驱动因素的旱化,会促使白刺种群更加适应环境,生态位宽度增大,更趋旱生化^[62]。虫鼠害:近几年白刺遭到虫鼠害越来越严重,据张惠玲等(2003)对武威市白刺草地调查研究发现以白刺夜蛾(*Leiomotopon simyrides*)和白刺粗角萤叶甲(*Diorhabda rybakowi*)为主的虫害及以长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)、大沙鼠(*Rhombomys opimus*)为主的鼠害面积达16.6 万 hm²,其中虫害面积 14.6 万 hm²^[56]。柴达木盆地白刺开始受到了古毒蛾(*Orgyia antiqua* Linnaeus)的严重危害^[63],虫鼠害影响了白刺正常的生长发育,降低了它的生物量,甚至造成大片白刺干枯死亡,而且由于防治不足,仍呈蔓延趋势。

5.2 白刺的保护及人工促进其恢复

在自然环境和人为的破坏的影响下白刺群落日益退化。必须找出其退化的原因并就其退化程度采取一定的保护措施:白刺经过多年生长地上部分老化后,可以有计划地进行放牧或人工平茬,促进白刺灌丛当年生长发育,减少沙包蓄水的消耗量,有利于白刺沙包的保存,可更好地发挥白刺灌丛的防风固沙作用。对砍挖白刺加以限制。在虫鼠害猖獗的地方开展虫鼠害监测工作,防止虫鼠害的发生。对轻度退化的白刺群落,可以对白刺群落进行封育,使其自然复壮更新。封育实质是在自然条件下通过系统的自我调节的植被恢复过程,在灌木死亡或消失但肥岛尚未完全消失时,如果没有任何外来干扰,植被的自然恢复速率仍然较快^[64、65]。对严重退化的白刺群落,肥岛已逐渐退化,其资源时空变化由相对异质到相对均质,要在相对均质的系统中

恢复植被,光靠系统的自我调节,其恢复速度将会十分缓慢^[66],必须通过一些人为的措施重建土壤异质性^[67,68]。输入能量和养分,合理的利用水源。对白刺进行育苗造林,据有关研究,唐古特白刺育苗移栽后,只灌水一次,成活率就可高达 95%以上^[69]。有关白刺的栽培技术有不少学者作了研究^[69,70],都取得了一些可喜的成果。白刺的栽培作为生

参考文献:

- [1] Engler, A. Zygophyllaceae natürlichen pflanzenfamilien[J]. Zaufl, 1931, 192:144 - 184.
- [2] Hutchinson J. The Genera of Flowering Plants. London[J]. The Crown Agents for Oversea Government and Administrations, 1968, 2: 611 - 621.
- [3] Dahlgren, R. General aspects of angiosperm evolution and macrosystematics[J]. Nord J Bot, 1983, 3:119 - 149.
- [4] 马毓泉, 张寿洲. 四合木系统地位的研究[J]. 植物分类学报, 1990, 28(2): 89 - 95.
- [5] 李师翁, 屠驷珠. 自刺属的胚胎学特征及其系统学意义[J]. 植物研究, 1994, 14(9): 255 - 261.
- [6] Sheahan, M C, Chase, M W. A phylogenetic analysis of Zygophyllaceae R. Br. based on morphological, anatomical and rbcL DNA sequence data[J]. Bot J Linn Soc, 1960, 122(4): 279 - 300.
- [7] 吴丽芝, 刘果厚, 马秀珍. 蒺藜科四种旱生植物叶结构的比较解剖及其系统学意义[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1998, 4: 21 - 25.
- [8] 段金殿, 周荣汉, 赵守训, 等. 唐古特白刺叶黄酮类及酚酸类成分的分离鉴定[J]. 植物资源与环境, 1999, 8(1): 6 - 9.
- [9] 尔巴衣·阿布都沙力克, 潘晓玲. 白刺属植物的化学成分分析及系统学意义[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2003, 20(1): 51 - 54.
- [10] 潘晓玲, 沈观冕, 陈鹏. 白刺属植物的分类学及系统学研究[J]. 云南植物研究, 1999, 21(3): 287 - 295.
- [11] 潘晓云, 魏小平, 尉秋实, 等. 多倍化——白刺属的系统分类、进化特征及应用前景[J]. 植物学通报, 2003, 20(5): 632 - 638.
- [12] 任琚, 陶玲. 甘肃省白刺属植物的数量分类研究[J]. 西北植物学通报, 2003, 23(4): 572 - 576.
- [13] 中国森林编委会. 中国森林[M]. 2000. 1988 - 1991.
- [14] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 第四十三卷, 第一分册, 1998. 116 - 123.
- [15] 孙学刚, 肖雯, 贾恢先. 疏勒河中游刚毛柽柳盐漠的群落结构、种群空间格局及种间联结性的研究[J]. 草业学报, 1998, 7(2): 10 - 17.
- [16] 孙继周, 吴洪斌, 刘荣国, 等. 沙坡头自然保护区植物群落的消长变化及可持续发展研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 544 - 549.
- [17] 冯金朝, 李曦辉, 钟进文, 等. 西北地区的干旱环境与沙漠化[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2002, 11(2): 103 - 107.
- [18] 贾宝全, 蔡体久, 高志海, 等. 白刺灌丛沙包生物量的预测模型[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 96 - 99.
- [19] 孙祥. 籽蒿与白刺的特性及其利用的研究[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1998, (3): 43 - 49.
- [20] 金自学. 河西走廊灌丛植被的生态学研究[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 17 - 21.
- [21] Worral, G A. Patchiness in vegetation in the northern Sudan[J]. J. Ecol. 1960, 48: 107 - 115.
- [22] Montana, C. The colonization of bare areas in two-phase mosaics of an arid ecosystem[J]. J. Ecol. 1992, 80: 315 - 327.
- [23] Garcia - Moya, E, McKell, C M. Contributions of shrubs to the nitrogen economy of a desert - wash plant community[J]. Ecology, 1970, 51: 81 - 88.
- [24] Halvorson, J J, Bolton, Jr H, Smith, J L, et al. Measuring resource islands using geostatistics[J]. Great Basins Nat., 1994, 54: 313 - 328.
- [25] 朱选伟, 刘海东, 梁士楚, 等. 浑善达克沙地赖草分株种群与土壤资源异质性分析[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1459 - 1464.
- [26] 何志斌, 赵文智. 黑河流域荒漠绿洲过渡带两种优势植物种群空间格局特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 947 - 952.
- [27] Wezel A, Rajot J L, Herbrig. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agr - ecosystems in semi - arid Niger[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 44: 383 - 398.
- [28] Dunkerley D. Hydrologic effects of dryland shrubs: Defining the spatial extent of modified soil water uptake rates at an Australian desert site[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 45: 159 - 172.
- [29] 赵文智, 何志斌, 李志刚. 草原农垦区土地沙质荒漠化过程的生物学机制[J]. 地球科学进展, 2003, 18(2): 257 - 262.
- [30] Burke, I C, et al. Plant - soil interactions in temperate grasslands[J]. Biogeochemistry, 1998, 42: 121 - 143.
- [31] Virginia, R A, W M. Jarrell. Soil properties in a mesquite - dominated Sonoran Desert ecosystem[J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 138 - 144.
- [32] Whitford, W G, Anderson, J, Rice, P M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, Larrea tridentata[J]. Journal of arid environments, 1997, 35(3): 451 - 457.
- [33] 程晓莉, 安树青, 李远, 等. 鄂尔多斯草地退化过程中个体分布格局与土壤元素异质性[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4):

态治理建设的一个突破口, 将会在生态系统恢复过程中发挥很大的作用。

总之, 当务之急是改变观念, 避免盲目开发, 杜绝滥牧、滥挖和滥砍伐, 控制农业开发规模, 减少耕地面积, 将有限的水资源主要用于维护生态平衡的生态工程建设, 保护和恢复白刺这一重要植被。

503 - 509.

- [34] Zaady E, Groffman PM, Shachak M. Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28: 3 - 46.
- [35] 张宏, 史培军, 郑秋红. 半干旱地区天然草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 366 - 370.
- [36] Garner, W, Y A Steinberger. Proposed mechanism for the formation of "fertile islands" in the desert ecosystem[J]. *Journal of Arid Environments*, 1989, 16: 257 - 262.
- [37] Abrahams AD, Parsons AJ, Wainwright J. Resistance to overland flow on semiarid grassland and shrubland hillslopes, Walnut Gulch, southern Arizona[J]. *Journal of Hydrology*, 1994, 156: 431 - 446.
- [38] Rostagno CM. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina[J]. *Journal of Range Management*, 1989, 42: 382 - 385.
- [39] Reynolds JF, Virginia RA, Kemp PR, et al. Impact of drought on desert shrubs: Effects of seasonality and degree of resource island development[J]. *Ecol Monogr*, 1999, 69: 69 - 106.
- [40] Stafford Smith, D, Pickup, G. Pattern and production in arid lands[J]. *Proc. Ecol. Soc. Aust*, 1990, 16: 195 - 200.
- [41] 张全发, 阎耀川, 金义兴. 植物群落与异质性[J]. *武汉植物学研究*, 1995, 13(4): 329 - 336.
- [42] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham GL, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. *Science*, 1990, 247: 1043 - 1048.
- [43] 李凌浩, 陈佐忠. 草地生态系统碳循环及其对全球变化的响应 I 碳循环的分室模型、碳输入与贮存[J]. *植物学通报*, 1998, 15(2): 14 - 22.
- [44] 梁福源, 宋林华, 王静. 土壤 CO₂ 浓度昼夜变化及其对土壤 CO₂ 排放量的影响[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(2): 170 - 176.
- [45] 齐玉春, 董云社, 耿元波, 等. 我国草地生态系统碳循环研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(4): 342 - 352.
- [46] 齐志勇, 王宏燕, 王江丽, 等. 陆地生态系统土壤呼吸的研究进展[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2003, 19(2): 116 - 119.
- [47] Paustian K, Andren O, Janzen H, et al. Agricultural soil as a C sink to offset CO₂ emission[J]. *Soil Use Man*, 1997, 13: 230 - 244.
- [48] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对生态系统碳汇功能影响的综合评价[J]. *中国工程科学*, 2003, 5(9): 65 - 77.
- [49] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原生态系统的分解者与枯枝落叶分解的研究[J]. *草业学报*, 1994, 3(1): 13 - 17.
- [50] 延吴, 王绍强, 王长耀, 等. 风蚀对中国北方脆弱生态系统碳循环的影响[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(6): 672 - 678.
- [51] Raich J. W., Schlesinger W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 1992, 44B: 81 - 99.
- [52] Campbell CA, McConkey BG, Zentner RP, et al. Long-term effects of tillage and rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan[J]. *Can J Soil Sci*, 1996, 76: 395 - 401.
- [53] Feng QI, Cheng Guoduong, Mikami Masao. The carbon cycle of sandy lands in China and its global significance[J]. *Climatic Change*, 2001, 48: 535 - 549.
- [54] 曾永年, 冯兆东. 沙质荒漠化遥感监测与环境影响研究进展[J]. *山地学报*, 2005, 23(2): 218 - 227.
- [55] 李新荣. 毛乌素沙地荒漠化与生物多样性的保护[J]. *中国沙漠*, 1997, 17(1): 58 - 62.
- [56] 张惠玲, 万国栋. 武威市白刺草地资源及其保护利用[J]. *草业科学*, 2003, 20(9): 63 - 65.
- [57] 张光辉, 石迎新, 聂振龙. 黑河流域生态环境的脆弱性及其对地下水的依赖性[J]. *安全与环境学报*, 2002, 2(3): 31 - 33.
- [58] 张丽, 董增川, 徐建新. 黑河流域下游天然植被生态及需水研究[J]. *灌溉排水*, 2002, 21(4): 16 - 20.
- [59] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点[J]. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923 - 1932.
- [60] 王启武, 尹桂荣. 民勤县生态危机分析及其对策[J]. *甘肃教育学院学报(社会科学版)*, 2002, 18(4): 1 - 5.
- [61] 许原. 石羊河流域荒漠化综合防治[J]. *甘肃林业科技*, 2002, 27(4): 28 - 30.
- [62] 杨自辉, 高志海. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(6): 923 - 926.
- [63] 何孝德, 王薇娟, 马文华, 等. 柴达木盆地固沙植物白刺的开发利用与管护[J]. *青海草业*, 2003, 12(3): 19 - 21.
- [64] Schlesinger, W H, Pilmanis, A M. Plant - soil Interactions in Deserts[J]. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 169 - 187.
- [65] Halvorson JJ, Bolton H, Smith JL. The pattern of soil variables related to *Artemisia tridentata* in a burned shrub-steppe site[J]. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 1997, 61: 287 - 294.
- [66] Aguiar, M R, Sala, O. E. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems[J]. *BioScience*, 1999, 14: 273 - 277.
- [67] Ludwig, J. A, Tongway, D J. Spatial organization of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia[J]. *Landsc. Ecol*, 1995, 10: 51 - 63.
- [68] Ludwig, J A, Tongway, D J, Marsden, S G. A flow - filter model for simulating the conservation of limited resources in spatially heterogeneous, semi - arid landscapes[J]. *Pac. Conserv. Biol*, 1994, 1: 209 - 213.
- [69] 祁迎林, 马玉林, 费迎霞. 柴达木盆地唐古特白刺栽培技术研究初报[J]. *青海草业*, 2003, 12(4): 15 - 16.
- [70] 高志海, 崔建国. 唐古特白刺非休眠枝扦插繁殖技术研究[J]. *园艺学报*, 1994, 21(3): 299 - 301.