

扦插玉米秸秆对光碱斑地虎尾草和角碱蓬存活率的影响

何念鹏^{1,2} 吴 泠¹ 周道玮^{2*}

(1 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

(2 东北师范大学植被生态重点实验室, 长春 130024)

摘 要 通过补播植物种子和扦插玉米秸秆, 研究自然状况下虎尾草 (*Chloris virgata*)、角碱蓬 (*Suaeda corniculata*) 在松嫩草地次生光碱斑的生长状况, 并对次生光碱斑自然恢复进程缓慢的原因、生态恢复模式进行了探讨。结果表明, 角碱蓬能直接在次生光碱斑上生长, 存活率为 $61.2\% \pm 16.5\%$; 虎尾草很难直接在次生光碱斑上生长, 存活率仅为 $5.7\% \pm 6.1\%$, 且虎尾草不能繁殖。扦插玉米秸秆极显著地提高了角碱蓬和虎尾草的存活率, 存活率分别为 $74.8\% \pm 18.4\%$ 、 $43.1\% \pm 20.8\%$, 并保证植物顺利繁殖, 为后续的自然演替提供了必备的种源。由于次生光碱斑土壤种子库极小, 耐盐碱植物如角碱蓬可直接在光碱斑上生长, 因此, 除了可溶性盐离子含量过高外, 我们提出土壤繁殖体(包括种子和其它繁殖体)极度缺乏也是松嫩草地次生光碱斑自然恢复进程缓慢的重要原因。最后, 根据松嫩草地次生光碱斑的土壤理化性质季节变化、当地气候特征和物种资源, 把生态学原理与生态工程有机地结合, 提出了加快松嫩草地次生光碱斑恢复进程的生态恢复模式。

关键词 生态工程 改良 盐碱地 种子库 虎尾草

EFFECT OF INSERTING CORNSTALK IN BARE ALKALI-SALINE PATCHES ON SURVIVAL RATE OF *CHLORIS VIRGATA* AND *SUAEDA CORNICULATA*

HE Nian-Peng^{1,2} WU Ling¹ and ZHOU Dao-Wei^{2*}

(1 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

(2 Key Laboratory for Vegetation Ecology, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract The Song-nen grassland in China, where *Leymus chinensis* is the dominant plant, ordinarily belongs to meadow grassland, but now there exists a mass of degraded alkali-saline grassland, with secondary bare alkali-saline patches in a regressive succession, caused by irrational exploitation in past years. It is an imperative and difficult task for scientists and grassland managers to improve or ameliorate these secondary bare alkali-saline patches. There have been extensive studies of the eco-physiological properties of many salt-tolerant plants and the property of soil in the Song-nen grassland. Many scientists and managers consider that the too high content of soluble saline ion in soil is the dominant cause, which made the natural restoration process of secondary bare alkali-saline patches so slow, and have brought forward some effective measures to improve them. However, relatively little is known about the survival rate of some salt-tolerant plants in secondary bare alkali-saline patches under natural conditions. It is a very important factor to the improvement of these bare patches and will to some extent influence the improving effect in practice. So, determining the survival rate of these salt-tolerant plants in natural conditions will help to find an economic and operable way to restore these secondary alkali-saline bare patches.

We have investigated the growing dynamics of two salt-tolerant plants (*Suaeda corniculata* and *Chloris virgata*) in secondary bare alkali-saline patches in natural conditions through seeding experiments. Moreover, we have also inspected whether some simple experimental treatments can enhance the survival rate of plants in natural conditions through inserting cornstalks in secondary bare alkali-saline patches and seeding. Finally, based on our results and previous work, we have discussed the potential causes, which made their natural restoration process so slow in natural conditions, and ways of optimizing ecological restoration patterns.

The results show that *Suaeda corniculata* is able to grow in the secondary bare alkali-saline patches in natural condition without any auxiliary utilities, and its ultimate survival rate arrives at $61.2\% \pm 16.5\%$ in fall; the survival rate of *Chloris virgata* is very low, and its ultimate survival rate is only $5.7\% \pm 6.1\%$. The mortality rate of the two plants is comparably high in their initial growth period. The treatment of inserting

cornstalks significantly enhances the survival rate of *Suaeda corniculata* and *Chloris virgata*, and their ultimate survival rates are $74.8\% \pm 18.4\%$ and $43.1\% \pm 20.8\%$ respectively. More importantly, they both can reproduce successfully and provide the necessary seeds for subsequent natural succession in these bare patches.

The soil seed bank is the template of plant restoration and influences the restoration speed and direction on these secondary bare alkali-saline patches. Natural restoration should be accelerated if there exist substantive seeds of salt-tolerant plants, such as seeds of *Suaeda corniculata*. Therefore, lack of propagulum in soil (including seeds and other propagulum) should be another important restricting factor, besides the too high content of soluble saline ion in soil, which made their natural restoration process so slow in natural conditions.

The experiment shows that it is possible to boost the survival rate of these salt-tolerant plants in secondary bare alkali-saline patches in natural condition, if we take some effective measures. Then, based on these properties of the secondary bare alkali-saline patches, we have put forward a new ecological restoration pattern to accelerate their natural restoration, i.e., rationally integrating the ecological theories into ecological engineering and making the best of local seed resources and local specific climate to improve secondary bare alkali-saline patches. Restoration of these secondary bare alkali-saline patches looks promising, especially where the area of these secondary bare patches is relatively small and their distribution is patchy in Song-nen grassland.

Key words Ecological engineering, Improvement, Alkali-saline soil, Seed banks, *Chloris virgata*

松嫩草原是我国北方重要的畜牧业基地之一。近年来,由于过度利用草地,草地退化、盐碱化已很严重,一些地区次生光碱斑已广泛分布,如何治理或改良这些次生光碱斑已迫在眉睫。国内外已有多种较成型的盐碱地改良方法:施用石膏、磷石膏等化学物质(Rhoades, 1989;石万普等, 1997;单秀枝等, 1998);翻压有机肥、施用枯草等(郭继勋等, 1996;吴龙华等, 2000);沙压或排水;直接栽种羊草、碱茅、虎尾草等耐盐碱植物(郭继勋等, 1996;1998;李建东等, 1994;郑慧莹等, 1999)。其中的一些方法在改良松嫩草原退化草地方面取得了较好的效果。快速而又直接地改良盐碱地是这些方法的共同手段和目标,因此它们都需要大量的物质和人力投入,增加了大面积推广的难度。在次生光碱斑面积相对较小、呈斑块状分布的区域,这些方法的可操作性会下降,因为机械操作或其它大规模工程措施会破坏次生光碱斑周围尚存的草地。杨殿巨等(1981)和祝廷成等(1974)提出自然恢复植被是松嫩草原盐碱地改良治理的最有效途径,但野外观察发现松嫩草原次生光碱斑自然恢复进程相当缓慢,因此,如何把生态工程与盐碱地自然恢复相结合,寻求一种快速恢复次生光碱斑植被的改良模式是很有必要的。

松嫩草原盐碱化草地的土壤理化性质,各种耐盐碱植物(如羊草(*Leymus chinensis*)、虎尾草(*Chloris virgata*)、角碱蓬(*Suaeda corniculata*)和星星草(*Puccinellia tenuiflora*)等)的生理生态特性已进行了大量研究(杜晓光等, 1994;王萍等, 1997;殷立娟等, 1992;郑慧莹等, 1999;石德成等, 2002),通常认为松嫩草地次生光碱斑长期存在的主要原因是表层土壤可溶性盐分含量过高,对植物造成了严重的盐分胁迫;

当 pH 值大于 10 时,绝大多数植物不能在盐碱地上生长(Cheeseman, 1988;郭继勋等, 1998)。但自然界的植物对严酷环境具有很强的适应性,通常它们的生长脆弱期(如生长初期、繁殖期)也是自然条件最适宜的时期,应该有一些极度耐盐碱植物能直接在次生光碱斑上生长(可能存活率很低),这也是植被自然恢复的基础。植物对盐碱胁迫的耐性实验主要在室内模拟进行,其实验条件与野外存在很大差异,一定程度上限制了室内实验结果在野外的推广和应用,迄今为止,没有关于自然状况下植物在次生光碱斑上的生长状况(存活率动态)的报道。本文通过人工播种植物种子,分析自然状况下植物在次生光碱斑的生长状况(存活动态)。此外,结合次生光碱斑土壤种子库特征,我们对次生光碱斑自然恢复进程极其缓慢的原因进行了探讨,检验繁殖体缺乏是否是次生光碱斑恢复进程极其缓慢的重要原因,并从理论上探讨了一种经济、快速的松嫩草地次生光碱斑生态恢复模式。

1 实验地自然状况

研究地点位于吉林省长岭县种马场自然保护区内,地理位置在 $123^{\circ}44' E$ $44^{\circ}44' N$ 附近。属半干旱温带季风气候,具有典型的大陆性季风气候特点:春季干旱少雨、大风,夏季温暖潮湿多雨,秋季温和雨量适中,冬季寒冷干旱有风。年平均气温 $4.9^{\circ}C$,年平均降水量 $470.6 mm$,主要集中在 6~8 月,年蒸发量为 $1600.2 mm$,约为降水量的 3 倍,无霜期为 142 d。地带性植被为隐域性草甸草原,群落类型以羊草+杂类草群落为主,土壤以碱化草甸土和盐化草甸土为主。由于长期不合理利用,大量羊草草地盐碱

化进一步退化形成斑块状分布的次生光碱斑,当前,次生光碱斑的面积正在不断扩大。实验所选择的光碱斑是由羊草草地退化而形成的,地表常形成盐积层。

2 研究方法

2.1 样地设置

2001年5月下旬,实验在一个约 0.5 hm^2 的次生光碱斑上进行,首先确定4个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样地,间隔 2 m ,每个小样地再细划分为4个 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的小样方,共设置16个固定小样方。每个小样方中间扦插一根直径约 2 cm 、长约为 25 cm 的玉米秸秆,破坏光碱斑光滑的地表后,把虎尾草种子均匀地撒播在各样方中。实验所用的种子是2000年秋天采于样地周围的群落,虎尾草种子播种量为 $1000\text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$,角碱蓬的实验方法与虎尾草相同,但角碱蓬的播种量为 $400\text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$,主要考虑角碱蓬的植株较大,播种密度太大可能会产生密度制约。为了检验扦插玉米秸秆对虎尾草和角碱蓬存活率的影响,需要确定玉米秸秆的影响范围(半径),国内外文献中还没有报道过类似的确定方法;实验发现虎尾草主要生长在玉米秸秆的周围(吴冷等,2002),本文以玉米秸秆为中心、半径为 7 cm 的区域为玉米秸秆的影响区,即处理区; $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 播种区内,除玉米秸秆影响区外的部分为对照区;保证影响区与对照区单位面积播种量相同、位置邻近,减少播种密度不同、土壤空间异质性对实验效果可能造成的负面影响。

另外,在这个次生光碱斑中还扦插了许多玉米秸秆,进行了类似的实验处理,但并未作为植物存活率调查的固定样方;本文所用的秸秆分解率数据及土壤理化性质的数据均源于这些实验处理。

2.2 取样

6月中旬连续下雨后,植物种子开始萌发,实验从17日开始,每隔10天对样地的植物数量进行调查,选取3个固定小样方(这些固定小样方并不在调查植物存活率的16个固定样方内,而是进行了类似实验处理的小样方),在距玉米秸秆 2 cm 处,分 $0 \sim 2\text{ cm}$ 和 $2 \sim 10\text{ cm}$ 土层深度进行;对照区土壤取样也分 $0 \sim 2\text{ cm}$ 和 $2 \sim 10\text{ cm}$ 土层进行;烘干法测量土壤水分,在实验室测定土壤有机质、电导率、pH值等指标。

玉米秸秆分解率以不同时期玉米秸秆干重与最初干重之比来确定;具体方法是在扦插玉米秸秆前

测定玉米秸秆含水量和每个玉米秸秆重量,扦插后不定期地测量玉米秸秆干重,用不同时期干重差与最初干重之比作为秸秆分解率。

植物取样在2001年8月27日进行,对处理区内的植物进行取样,取样时测定株高、植物单株分蘖数、植物单株重量、分蘖枝的繁殖率。

3 结果与分析

3.1 虎尾草存活率动态

实验发现虎尾草在雨季初期开始萌发,发芽率在处理区与对照区分别达到 74.3% 和 76.1% ,在严重盐碱胁迫下仍具有较高发芽率。在生长前期的死亡率很高,存活率下降很快,随着时间的推移,虎尾草死亡率逐渐降低,存活曲线趋向平稳。实验进行30天时(7月17日),处理区和对照区虎尾草死亡率就达到 43.7% 和 89.1% ;生长后期死亡率较低。通过对数据的拟合分析表明,随着时间推移,处理区虎尾草存活率显著下降,存活率平均值的拟合曲线符合 $y = 1.272x^2 - 20.216x + 122.77$ 方程, $R^2 = 0.9796$ (图1);对照区虎尾草存活率也随时间推移显著下降,存活率平均值的拟合曲线符合 $y = 129.62x^{-1.5748}$ 的幂函数方程, $R^2 = 0.9395$ (图2)。虎尾草最终存活率在处理区和对照区分别为 46.2% 和 5.7% ,对照区虎尾草死亡率很高,大多数对照区的虎尾草到8月27日已全部死亡,扦插玉米秸秆成功地提高了虎尾草的存活率。

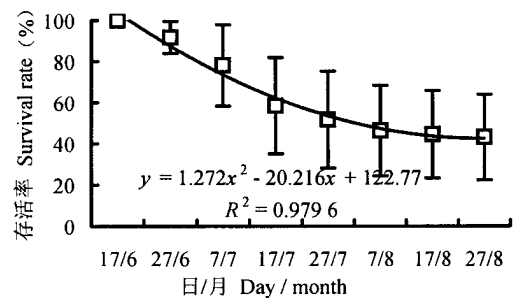


图1 处理区虎尾草存活曲线

Fig.1 Survival rate of *Chloris virgata* in improved zone

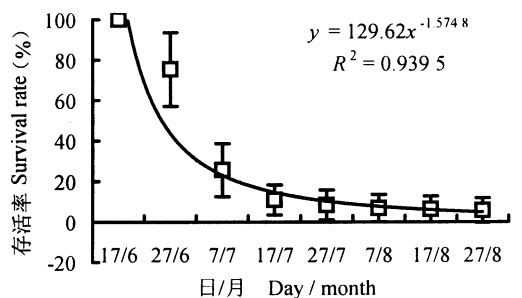


图2 对照区虎尾草存活曲线

Fig.2 Survival rate of *Chloris virgata* in control zone

t 检验表明扦插玉米秸秆极显著地提高了虎尾草在次生光碱斑的存活率 ($df = 7, t = 6.00^{**}$), 处理区的虎尾草具有较高的存活率; 而对照区虎尾草存活率却很低。对照区的结果表明: 如不施加其它的实验处理, 即使人工播种虎尾草种子, 大量虎尾草种子在雨季可萌发, 但严重的盐分胁迫也会使绝大部分虎尾草死亡, 很难实现次生光碱斑的恢复。处理区的结果表明: 在具体的治理或改良过程中, 通过一些简单的处理方法可提高植物在次生光碱斑上的存活率。

3.2 角碱蓬存活率动态

角碱蓬在雨季初期开始萌发, 发芽率在处理区和对照区分别为 71.2% 和 72.7%。与虎尾草不同, 处理区和对照区的角碱蓬在整个生长期的死亡率都不是很高, 尤其是在 7 月 17 日以后, 一些处理区和对照区的角碱蓬甚至未出现死亡现象; 到 8 月 27 日, 处理区和对照区角碱蓬存活率分别为 74.8% 和 61.2%。角碱蓬存活率数据的拟合分析表明: 处理区角碱蓬平均存活率曲线符合方程 $y = 101.9x^{-0.166}$, $R^2 = 0.9187$ (图 3); 对照区角碱蓬平均存活率曲线符合方程 $y = 102.87x^{-0.2774}$, $R^2 = 0.9246$ (图 4)。实验结果表明: 角碱蓬在次生光碱斑的存活率很高, 其死亡现象主要出现在生长前期 (7 月 17 日前)。 t 检验表明扦插玉米秸秆的方法极显著地提高了角碱蓬在次生光碱斑上的存活率 ($df = 7, t = 5.17^{**}$)。实验处理区角碱蓬的存活率明显比对照区高。人工播种的角碱蓬可以在次生光碱斑上成功生长, 因此, 如能补充这些耐盐碱植物的种子 (或繁殖体), 次生光碱斑的自然恢复进程可大大加快; 同时也表明缺乏耐盐碱植物 (角碱蓬或其它极度耐盐碱植物) 的繁殖体影响了次生光碱斑自然恢复进程。

3.3 植物的其它生长指标

扦插玉米秸秆对虎尾草生长影响很大, 处理区

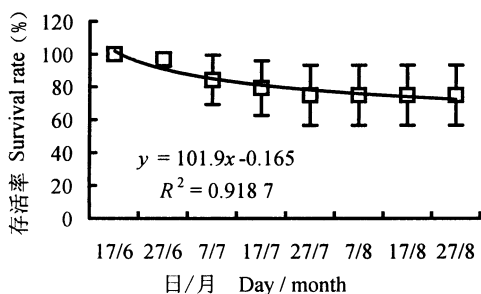


图 3 处理区角碱蓬存活率曲线

Fig. 3 Survival rate of *Suaeda corniculata* in improved zone

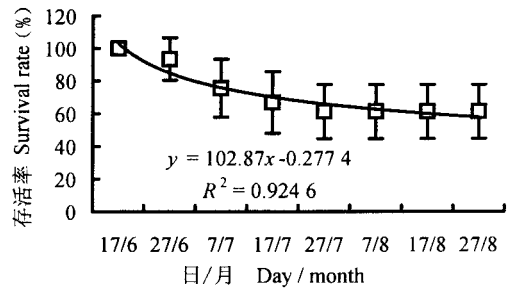


图 4 对照区角碱蓬存活率曲线

Fig. 4 Survival rate of *Suaeda corniculata* in control zone

的植物高度和单株生物量明显增加, 尤其重要的是分蘖枝条的繁殖率可达到 87.4%, 可为盐碱地的后继恢复提供种源; 对照区虎尾草生长状况很差, 不能繁殖, 注定其定居过程会失败。处理区的角碱蓬生长状况与对照区相比较好, 角碱蓬产量可达到 $280 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右; 角碱蓬在次生光碱斑上生长良好, 扦插玉米秸秆并未显著地影响角碱蓬的各项生长指标, 处理区和对照区均有一部分角碱蓬可以产生种子。在玉米秸秆辅助下, 虎尾草和角碱蓬各项生长指标较好, 其中一部分植株可繁殖种子, 使后续的自然恢复成为可能, 加速次生光碱斑的后继恢复进程。

4 讨论

1) 玉米秸秆影响区与对照区土壤理化性质分析表明: 土壤含水量在各个时期均很高, 扦插玉米秸秆并未明显地改变土壤含水量; 玉米秸秆影响区的土壤 pH 值并未明显下降, 土壤 pH 值在任何时期均超过 10。相关的实验表明, 许多植物很难在这种 pH 值环境生长 (Cheeseman, 1988; 郑慧莹等, 1999; 郭继勋等, 1996; 石德成等, 2002)。表层土壤可溶性离子含量高是松嫩平原盐碱化草地的重要特征之一, 它直接影响着植物生长, 土壤电导率变化基本上反映土壤溶液中水溶性盐分状况 (李建东等, 1994; 郑慧莹等, 1999; 张为政, 1994; 郭继勋等, 1996)。扦插玉米秸秆明显降低了土壤电导率, 使土壤表层水溶性离子含量降低, 降低了植物所受的盐分胁迫 (松嫩草原主要是 Na^+ 和 HCO_3^-), 因此, 虽然自然状况下虎尾草不能直接在次生光碱斑上繁殖, 但在玉米秸秆的影响区域, 虎尾草存活率得到显著提高, 并能够产生种子, 为后继演替提供必需的种源; 同样, 扦插玉米秸秆也显著地提高了角碱蓬在次生光碱斑的存活率。当然, 土壤 pH 值过高、可溶性盐分含量过大, 仍然对植物形成了很严重的盐分胁迫, 使虎尾草和角碱蓬在次生光碱斑的死亡率都很高, 尤其是在

表 1 植物其它生长指标分析(平均值 ± 标准误)
Table 1 Analysis of the other growth characters of plants (Mean ± SD)

	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>		角碱蓬 <i>Suaeda corniculata</i>	
	处理区 Treatment	对照区 CK	处理区 Treatment	对照区 CK
高度 Heigh(cm)	19.9 ± 3.1	5.9 ± 1.9	22.4 ± 4.62	18.9 ± 6.45
分蘖数 The number of tiller(tiller·plant ⁻¹)	3.8 ± 1.1	1.4 ± 0.8	-	-
单株重量 Weight of per plant(g·plant ⁻¹)	0.49 ± 0.13	0.01 ± 0.006	1.68 ± 0.84	1.56 ± 1.29
繁殖率 Reproduction ratio(%)	87.4 ± 9.16	0	68.7 ± 10.5	48.1 ± 19.4

植物生长前期。另外,植物对自然界恶劣环境的长期适应,也是植物能够在次生光碱斑上成功生长的另一个重要因素,虎尾草和角碱蓬生长初期和繁殖期均是当地的雨季,这时土壤水分含量高、可溶性盐离子含量低,有利于植物生长(表 2)。因此,雨季是当地土壤可溶性离子含量最低、水分含量最高的时期,也是植物在次生光碱斑生长的最适时期。

2) 玉米秸秆影响区的虎尾草和角碱蓬存活率明显比对照区高,扦插玉米秸秆显著地提高虎尾草和角碱蓬的存活率。玉米秸秆的分解可一定程度上改良玉米秸秆周围邻近区域的土壤理化性质,到 8 月 27 日,玉米秸秆的分解率为 68%(图 5);更重要的是玉米秸秆本身就为植物提供了一个良好的生长平台,野外观察发现大量植物根系围绕玉米秸秆或直接穿透到玉米秸秆中生长,植物可通过玉米秸秆

吸收各种养料。枯草等物质在分解过程中,可形成各种有机酸,对碱性盐类起到过滤作用和中和作用(郭继勋等,1996),玉米秸秆的分解可降低植物所受的盐分胁迫,提高植物在次生光碱斑的存活率。玉米秸秆在一年内并未完全分解,剩余物质可为后继植被恢复继续提供生长平台,保证植被恢复的连续性。因此,在盐碱地的生态恢复过程中,利用一些简单的生态工程方法提高植物存活率是可行的。

3) 松嫩草原次生光碱斑自然恢复进程缓慢的原因有多种,通常认为表层土壤可溶性盐离子含量过高是其主导性因素(郑慧莹等,1999;郭继勋等,1996)。土壤种子库是植被恢复的模板,影响植被恢复的方向与速度,对植被恢复起着重要作用。松嫩草地次生光碱斑的表层土壤遭到严重破坏,表面光滑且少缝隙,对流经其表面的植物繁殖体(包括种子和其它繁殖体)的截留能力很弱,使次生光碱斑处于繁殖体极度缺乏的状况,土壤种子库很小,主要是虎尾草,极少有角碱蓬;次生光碱斑表面种子流巨大。由于角碱蓬(可能还有其它耐盐碱植物)可直接在次生光碱斑上生长的,如果这类植物的繁殖体在土壤中大量存在,次生光碱斑的自然恢复速度应该很快;自然状况下,次生光碱斑是不能长期存在的。因此,除了严重的盐分胁迫外,繁殖体缺乏也是松嫩草地次生光碱斑自然恢复进程缓慢的一个重要原因。针对次生光碱斑繁殖体缺乏的现状,如能补播一些极

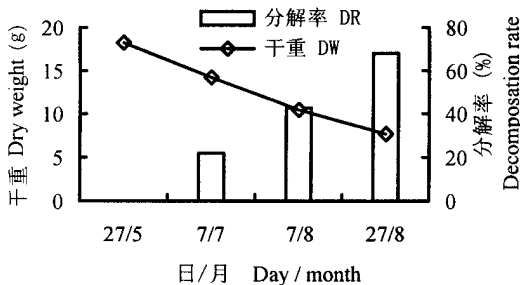


图 5 玉米秸秆分解率动态

Fig.5 Dynamics of decomposition rate of cornstalk

表 2 土壤理化性质的变化动态

Table 2 Dynamics of the soil physical-chemical character

日/月 Day/month	土壤含水率 Soil moisture (%)				电导率 Conductivity rate (ms·m ⁻¹)				pH			
	T ₁	T ₂	C ₁	C ₂	T ₁	T ₂	C ₁	C ₂	T ₁	T ₂	C ₁	C ₂
27/6	10.29	13.62	10.83	12.86	1.85	2.24	3.71	3.21	10.36	10.42	10.44	10.42
7/7	10.08	11.92	10.86	11.13	1.39	1.84	4.00	3.31	10.41	10.46	10.52	10.55
17/7	5.36	10.55	7.24	13.36	3.14	1.39	3.31	1.47	10.48	10.37	10.55	10.48
27/7	10.34	12.30	10.24	10.87	0.85	1.59	0.95	2.20	10.29	10.25	10.31	10.50
7/8	5.74	12.50	6.56	11.81	1.04	1.87	1.89	1.47	10.33	10.36	10.43	10.39
17/8	4.76	10.76	7.00	11.69	2.07	1.83	2.40	1.85	10.41	10.32	10.38	10.36
27/8	9.28	11.24	10.62	10.41	0.54	0.92	2.58	2.30	10.12	10.28	10.36	10.32

T₁: 处理区 Treatment (0~2 cm) T₂: 处理区 Treatment (2~10 cm) C₁: 对照 CK (0~2 cm) C₂: 对照 CK (2~10 cm)

度耐盐碱植物种子, 或通过一些辅助手段, 提高光碱斑对流经其表面的植物繁殖体的截留能力, 加速次生光碱斑的恢复进程是可能的。

4) 表层土壤可溶性盐离子含量高、植物繁殖体缺乏是松嫩草地次生光碱斑自然恢复进程极其缓慢的两个重要原因; 一些简单的措施能提高植物在次生光碱斑上的存活率, 使植物能够自我繁殖, 为后继的自然恢复提供必备的种源, 加速这类重度盐碱地的恢复进程。针对松嫩草地次生光碱斑的这些特点, 我们把生态学原理与生态工程有机地结合起来, 提出加速松嫩草原次生光碱斑恢复进程的生态模式(图6)。该生态恢复模式以次生光碱斑的土壤理化

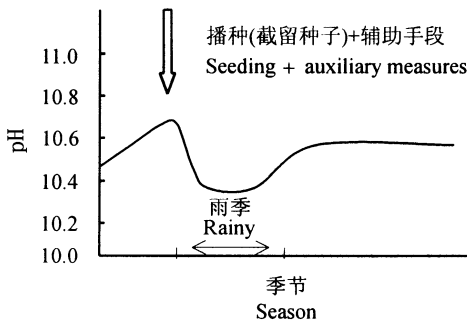


图6 盐碱地生态恢复模式

Fig.6 Pattern of the ecological restoration of alkali-saline soil

特征为基础、结合当地气候特征, 充分利用当地物种资源(耐盐碱植物的种子资源)、农业副产品, 辅以适宜的生态工程措施, 使次生光碱斑治理成本低、易于操作, 该生态恢复模式更适宜次生光碱斑面积相对较小、且呈斑块状分布的区域。

参 考 文 献

- Cheeseman, J. M. 1988. Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant Physiology*, **87**: 547 ~ 550.
- Du, X. G. (杜晓光), H. Y. Zheng (郑慧莹) & C. D. Liu (刘存德). 1994. A preliminary study on the main plant communities in the saline soils of song-nen plain. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **18**: 41 ~ 49. (in Chinese with English abstract)
- Guo, J. X. (郭继勋), W. M. Ma (马文明) & G. F. Zhang (张贵富). 1996. Biological approaches for improving alkaline-saline grassland. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **20**: 478 ~ 484. (in Chinese with English abstract)
- Guo, J. X. (郭继勋), G. Sun (孙刚) & S. C. Jiang (姜世成). 1998. Ecological effect of litter layer on vegetation recovery of saline-alkal grassland. *Journal of Northeast Normal University (东北师范大学学报)*, **30**: 107 ~ 110. (in Chinese with English abstract)
- Li, J. D. (李建东) & H. Y. Zheng (郑慧莹). 1994. Studies on improving saline-alkaline grassland in Song-nen plain. *Journal of Northeast Normal University (东北师范大学学报)*, **26**: 110 ~ 115. (in Chinese with English abstract)
- Rhoades, J. D. 1989. Estimating soil salinity from saturated soil-paste electrical conductivity. *Soil Science*, **53**: 428 ~ 433.
- Shan, X. Z. (单秀枝), Y. Q. Wei (魏由庆), H. J. Yan (严慧峻), J. F. Liu (刘继芳) & R. Zhang (张锐). 1998. Influence of organic matter on soil hydrodynamic parameters. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, **35**: 1 ~ 8. (in Chinese with English abstract)
- Shi, D. C. (石德成), Y. M. Li (李玉明), G. H. Yang (杨国会), Y. D. Li (李毅丹) & K. F. Zhao (赵可夫). 2002. A simulation of salt and alkali mixed ecological conditions and analysis of their stress factors in the seedlings of *Leymus chinensis*. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **22**: 1323 ~ 1332. (in Chinese with English abstract)
- Shi, W. P. (石万普), R. P. Yu (俞仁培), C. P. Miao (苗春蓬) & Y. C. Wang (王永纯). 1997. Comparison of ameliorating alkaline soils with different materials. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, **34**: 221 ~ 224. (in Chinese with English abstract)
- Wang, P. (王萍), H. Y. Zhang (张宏一), L. J. Yin (殷立娟), Z. W. Wang (王正文) & B. Zhou (周波). 1997. Effects of saline-alkali habitat on absorption of Na^+ by *Puccillia tenuiflora* and its distribution in *Vivo*. *Acta Prataculturae Sinica (草业学报)*, **6**: 44 ~ 48. (in Chinese with English abstract)
- Wu, L. (吴冷), N. P. He (何念鹏) & D. W. Zhou (周道玮). 2002. Cornstalk to improve alkali-saline soil in Song-nen grassland. *Grassland of China (中国草地)*, **23**: 34 ~ 38. (in Chinese with English abstract)
- Wu, L. H. (吴龙华), G. R. Wang (王桂荣) & C. X. Zhang (张春兴). 2000. Ecological effect of peat and weathered coal on alkali-saline soil. *Eco-agriculture Research (生态农业研究)*, **8**: 34 ~ 37. (in Chinese with English abstract)
- Yang, D. C. (杨殿巨) & T. C. Zhu (祝廷成). 1981. Some opinions on reconstruction of the meadow-steppe in Jilin province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica (植物生态学与地植物学丛刊)*, **5**: 50 ~ 53. (in Chinese)
- Yin, L. J. (殷立娟), W. Z. Zhang (张为政) & D. C. Shi (石德成). 1992. Effect of soil salinization and noncapillary porosity on the biomass forming and ecological dominance of *Leymus chinensis* community. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **12**: 302 ~ 309. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, W. Z. (张为政). 1994. The relationship between vegetation degeneration and soil salinization in an *Aneurolepidium chinense* grassland of Song-nen plain. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **18**: 50 ~ 55. (in Chinese with English abstract)
- Zheng, H. Y. (郑慧莹) & J. D. Li (李建东). 1999. Salt-tolerant plant and restoration of the alkali-saline grassland in Song-nen plain. Beijing: Science Press. 179 ~ 188. (in Chinese)
- Zhu, T. C. (祝廷成) & J. D. Li (李建东). 1974. Fenced grasslands. *Plants (植物杂志)*, (4): 8 ~ 12. (in Chinese)