

松嫩盐碱草地几种植物的土壤营养位分析

阎秀峰¹, 孙国荣², 李 晶³

(1. 东北林业大学森林植物生态学开放研究实验室, 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨师范大学生物系, 哈尔滨 150080; 3. 东北农业大学基础部, 哈尔滨 150030)

摘要:针对松嫩盐碱草地上的几种主要植物,以植物地上生物量和总和优势度(SDR)为土壤营养位效能指标,分别从多项土壤因子综合、可溶盐含量、总碱度、 Na^+ 含量、有机质含量、全氮含量角度进行了土壤营养位分析。讨论了松嫩盐碱草地植物种群分布格局与土壤营养的关系,指出松嫩盐碱草地植物种群分布格局的形成是可溶盐含量、总碱度、 Na^+ 含量、有机质含量、全氮含量 5 项主要土壤因子综合作用的结果。对于各植物种群土壤营养位的分化结果而言,没有一项土壤因子是起决定性作用的。

关键词:盐碱草地;土壤营养位;植物种群分布格局;土壤营养

Soil nutrient field analysis for plant species in Songnen alkaline grassland

YAN Xiu-Feng¹, SUN Guo-Rong², LI Jing³ (1. Open Research Laboratory of Forest Plant Ecology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Department of Biology, Harbin Normal University, Harbin 150080, China; 3. Center of Botany, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 1973~1985.

Abstract: Plant growth and species compositions are affected by the soil properties in semiarid grassland. Therefore studying the relationships between plant distributions and soil nutrient characteristics are important to understand the spatial patterns and process of plants in ecosystems of semiarid grassland. In this paper we use soil nutrient field analysis (SNFA) method to study the relations of plant overground biomass (POB) and summed dominance ratio (SDR) with 13 soil factors, i. e., organic materials, total N, total P, total K, total Na, total Ca, total Mg, total alkalinity ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$), soluble salt, K^+ , and Na^+ contents, also soil pH and moisture, respectively, in Zhaozhou Grassland Experiment Station ($124^\circ 47' \sim 124^\circ 50' \text{E}$, $45^\circ 46' \sim 45^\circ 48' \text{N}$), one parts of the Songnen alkaline grassland of the Northeast China.

On June of 1995, according to the species compositions and growth status, 15 types were selected from the site of alkali patches where has no plants growing to the site of grassplots where has the abundant plant species. We sampled 5 quadrates in each type (total 75 quadrates) and measured plant height, cover degrees, densities, overground biomass at each quadrates for each types. We also selected 5 soil samples from 0~10cm below ground at each quadrates. Every 5 quadrate data were calculated to be represented as means for each types. The 13 soil factors were analyzed by principal component analysis (PCA), the first principal component as soil nutrients is X-axis, and the relative overground biomass or SDR, reflecting the efficiency of soil nutrient field (SNF), is Y-axis, respectively. Based on the plant importance in the Songnen alkaline grassland, all 32 plant species were classified into 4 plant groups, i. e., *Aneurolepidium chinense*, *Puccinellia tenuiflora*, *Suaeda* spp. (including 3 Seepweed species and 1 sagebrush species), and "other" (including 26 plant species), and the soil nutrient fields (SNF) of this 4 groups were calculated by the

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目

收稿日期:1999-12-25; **修订日期:**2001-09-10

作者简介:阎秀峰(1965~),男,博士,教授,主要从事植物生理生态学研究 and 教学。

methods of Yan *et al.*^[12]. For comparing the differences among the 4 groups, we used 4 variables, SNF center points, SNF breadths, SNF volumes, and SNF overlaps, all of which were the relative values, to do analysis in the research. SNF center point is the relative positions of coordinates, SNF breadth is the breadth of one group to total breadth ratios, SNF volume is the volume of one group to total volume ratios, and SNF overlap is the ratio of one group overlap to total overlap, respectively. The total SNF breadth is total length of X-axis, and was calculated by PCA using 13 soil factors from 15 types. The total SNF volume is the integration values of total SNF breadth when the functions $f(x)$ of SNF is at the maximum efficiency of the SNF, i. e., the product of maximum efficiency and total SNF breadth at data analysis.

Both POB and SDR have the similar results to express the plant efficiencies of SNF in 4 groups. The results show that the functions of SNF of *Suaeda* spp., *P. tenuiflora* and *A. chinense* are all single-peak curves, which indicate that there are the optimal soil nutrient condition at the field in Songnen grassland. The optimal position at X-axis is the SNF center point, and also the same of the corresponding value to the single-peak curve at X-axis. The plant growth and distributions were limited heavily away from this optimal soil nutrient position on the curves due to poor soil conditions and plant interspecific competitions. Such as *Suaeda* spp., *P. tenuiflora* and *A. chinense*, they are mainly restricted by soil nutrients in right side of curves, and by interspecific competitions in left side of curves at X-axis.

When the efficiencies of SNF is characterized by POB, the maximum breadth of SNF is *A. chinense*, while *P. tenuiflora* close to it, but both breadths of them are broader than that of both "other" and *Suaeda* spp.. This means that *A. chinense*, and *P. tenuiflora* have a adaptability of soil condition in a larger ranges. As to the volume of SNF, "other" is the largest one, *P. tenuiflora* is little lower to "other" and closed to *A. chinense*, the smallest one is *Suaeda* spp. Although both *P. tenuiflora* and *A. chinense* have larger breadths of SNF, their efficiencies are lower, namely they have smaller POB, thus they have smaller volumes of SNF.

The overlap of SNF is an important variable to discuss plant interspecific relations in plant ecology. Among the 4 groups, the overlaps of SNF, *P. tenuiflora*-*A. chinense* and *A. chinense*-"other", are larger than that of *Suaeda* spp. -*P. tenuiflora* and *P. tenuiflora*-"other", which show some similarity on the soil nutrient utilization between each of them. The variable of relative overlap indicate that this similarity on soil nutrients can impacted plant competitions for each species, e. g., the overlap of SNF of *Suaeda* spp. -*P. tenuiflora* is 0.008, its relative overlap of SNF to *Suaeda* spp. is 0.178, and 0.054 to the species of *P. tenuiflora*, which display the overlaps of SNF of *Suaeda* spp. -*P. tenuiflora* influenced POB more on *Suaeda* spp. than that of *P. tenuiflora*. However, this interactions also appeared among the 3 overlaps of *P. tenuiflora*-*A. chinense*, *P. tenuiflora*-"other", *A. chinense*-"other". These results derived from plant competitions for soil resources due to the size of overlaps of SNF reflecting the status of competitions in plants, all the species are co existence in site at this stage after SNF differentiation for a long time.

We used 5 soil factors, organic materials, total N, soluble salt contents, total alkalinity, Na^+ , and used the first principal components calculated from 13 soil factors to do soil nutrient field analysis, the results are differences. In using soluble salt contents to do SNFA, the breadth and volume of SNF of *P. tenuiflora* increased larger and obviously, *Suaeda* spp. has some added, *A. chinense* and "other" decreased their breadths and volumes. These demonstrated that *P. tenuiflora* can tolerate higher salt concentrations in wider scopes than other species, and also has a stronger competitive ability in this soil conditions in Songnen alkaline grassland.

The SNF of total alkalinity and Na^+ contents to the 4 groups show that there is larger space of nutrients figuring in X-axis, in which has not used by plant species. Therefore, it can be concluded that both

total alkalinity and Na^+ contents are the main factors to impact plant growth in alkali patch soil. For organic materials, the group of "other" has a more ability to use it. *P. tenuiflora* and *Suaeda* spp. are obviously weaker in nutrient competitions. The data also show that *P. tenuiflora* has greater competition to use total nitrogen, and *A. chinense* is lower.

From all above results, the SNF calculated by 5 soil factors, i. e., organic materials, total N, soluble salt contents, total alkalinity, and Na^+ contents are different from the SNF calculated by the first principal components. This means there is no one soil factors which can control plant growth in any SNF. The spatial pattern and growth of plants in Songnen alkaline grassland are resulted by integration of 5 soil factors, which reflected two important specialties: one is the contents and compositions of salts, and the other is soil nutrient conditions.

Key words: alkaline grassland; soil nutrient field; distribution pattern of plant population; soil nutrition

文章编号:1000-0933(2001)12-1973-13 中图分类号:Q948.113 文献标识码:A

松嫩草地地处温带,具半干旱大陆性气候特点,草甸草原是松嫩草地的主体类型^[1],羊草是松嫩草地的优势禾草^[2],盐碱化的松嫩草地以羊草+杂类草群落为主。松嫩草地的气候特点和碱性土壤基质决定了羊草群落成为这种草甸草原的顶极群落。然而,伴随着松嫩草地盐碱化程度的提高,优势禾草羊草的面积减少,草高度和草地郁闭程度降低,形成大片寸草不生的盐碱斑,而且盐碱植物群落增加。

关于松嫩草地盐碱植物群落的分类和分布已有较深入的研究,对盐碱植物群落与盐碱生境相关性的生物生态学机制也有初步的探讨^[3-11],但从定量的角度分析松嫩盐碱草地植物种群分布格局与土壤营养状况关系的研究还少见报道。依据松嫩盐碱草地上植物群落特征、植物与环境(气候条件、土壤基质)互作关系以及植物种间竞争作用的特点,提出了土壤营养位(Soil nutrient field)的概念,试图作为一种方法,用来分析盐碱草地植物种群分布与土壤营养的关系,并进一步探讨各种植物在盐碱草地植被演替中的地位和作用。前文^[12]给出了土壤营养位的计测方法,并讨论了土壤营养位效能指标的选择和土壤营养轴上测定指标的处理,本文将进一步对松嫩盐碱草地几种植物的土壤营养位进行分析。

1 实验地自然概况

野外采样工作在黑龙江省肇州草原试验场上进行。该场位于东经 $124^{\circ}47' \sim 124^{\circ}50'$,北纬 $45^{\circ}46' \sim 45^{\circ}48'$,属松嫩平原西部,平均海拔 104 m。该地属大陆性气候,年日照时数 2900 h,无霜期 143 d,年平均温度 3.6°C ,年最高温度 38.1°C ,年最低温度 -30.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 2800°C ,属黑龙江省第一积温带。该地气候干旱,年平均降水量 434.5 mm,主要降水集中在 6~8 月份,土壤为碱化草甸土。

2 研究方法

2.1 野外取样方法

于 6 月下旬根据草地上植物的组成和生长情况选取了从植物不能生长的碱斑地到植物种类非常丰富的草地共 15 个类型,每个类型中选取 5 个样方,在每个样方内计测各种植物的盖度、密度,量取平均株高,并收割地上部分称取各种植物的重量。5 个样方的计测结果取平均值作为一个类型的数据。在每个样方的地下部分取 0~10 cm 土壤,将 5 个样方的土壤等量混合,风干后分析土壤的盐分、养分、水分状况,作为一个类型的土壤数据。

2.2 土壤营养指标的测定

参照中国科学院南京土壤研究所^[13]的方法,用电导法测定可溶盐含量,数显式 pH 计测 pH 值,电位滴定法测定 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ,火焰光度计法测定 K^+ 和 Na^+ 含量,重铬酸钾法测定有机质含量,靛酚蓝比色法测定氮含量,钼蓝比色法测定磷含量,原子吸收光谱法测定钾、钠、钙、镁含量,烘干称重法测定相对含水量。

2.3 土壤营养位的计测

按照前文^[12]提出的计测方法,分别以相对地上生物量和总和优势度(SDR)作为土壤营养位效能指标

计算几种植物的土壤营养位,土壤营养位各测度的计测公式、植物的相对地上生物量和总和优势度以及土壤指标的测定结果详见前文^[12]。根据测定的植物在松嫩盐碱草地中的重要性并使结果分析简化,只将羊草和星星草单独计算,“碱蓬”项中包括该试验地生长的各种碱蓬以及一部分碱蒿,其余的均归入“其他”项中,包括约 26 种植物。为便于植物间的相互比较,土壤营养位中心点、土壤营养位宽度、土壤营养位体积和绝对土壤营养位重叠等测度的计算均采用了相对值。

土壤营养位中心点和土壤营养位宽度的相对值是指实测的土壤营养位中心点坐标和土壤营养位宽度占总土壤营养位宽度的比值,土壤营养位体积和绝对土壤营养位重叠的相对值是指实测的土壤营养位体积和绝对土壤营养位重叠占总土壤营养位体积的比值。总土壤营养位宽度是指根据 15 个类型草地土壤指标计算得出的土壤营养轴的总长度,总土壤营养位体积则是土壤营养位函数 $f(x)$ 恒为最大土壤营养位效能时在总土壤营养位宽度上的积分值,即最大土壤营养位效能与总土壤营养位宽度的乘积。

3 结果与分析

3.1 多项土壤因子综合的土壤营养位分析

针对测定的 13 项土壤指标即可溶盐含量、pH 值、总碱度(可溶盐中 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量之和)、有机质含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量、全钠含量、全钙含量、全镁含量、可溶盐中 K^+ 含量、 Na^+ 含量和土壤相对含水量,采用主分量分析的方法,以第一主分量作为土壤营养轴,并分别以相对地上生物量和总和优势度为土壤营养位效能进行了土壤营养位分析(图 1),并计算了各项土壤营养位测度(表 1 和表 2)。

表 1 以 13 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析

Table 1 Soil nutrient field analysis by 13 characters stand soil nutrition

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>Puccinellia tenuiflora</i>	羊草 <i>Aneurolepidium chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>Puccinellia tenuiflora</i>	羊草 <i>Aneurolepidium chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.336	0.106	-0.138	-0.452	0.336	0.106	-0.138	-0.452
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.248	0.547	0.589	0.372	0.287	0.647	0.581	0.451
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.047	0.167	0.169	0.182	0.069	0.233	0.234	0.197

W 表示以相对地上生物量作为土壤营养位效能的计算结果;S 则表示以总和优势度作为土壤营养位效能的计算结果,下表同。W are the calculated results by relative overground biomass serving as soil nutriment field efficiency; S are the calculated results by summed dominance ratio serving as soil nutriment field efficiency; following table is the same

由图 1 可看到,碱蓬、星星草和羊草的土壤营养位函数均为单峰曲线,这表明它们在松嫩草地上均有一个最佳土壤营养位置,即其土壤营养位函数峰值所对应的土壤营养轴的位点,此点即为前文^[12]所定义的土壤营养位中心点。在土壤营养位中心点两侧,植物的生长和分布均将受到越来越大的限制。这种限制来源于两个方面,一方面是土壤营养的限制,另一方面则是植物种间的生存竞争。就碱蓬、星星草和羊草而言,曲线峰值右侧受土壤营养限制较大,而曲线峰值左侧则受生存竞争影响较多。

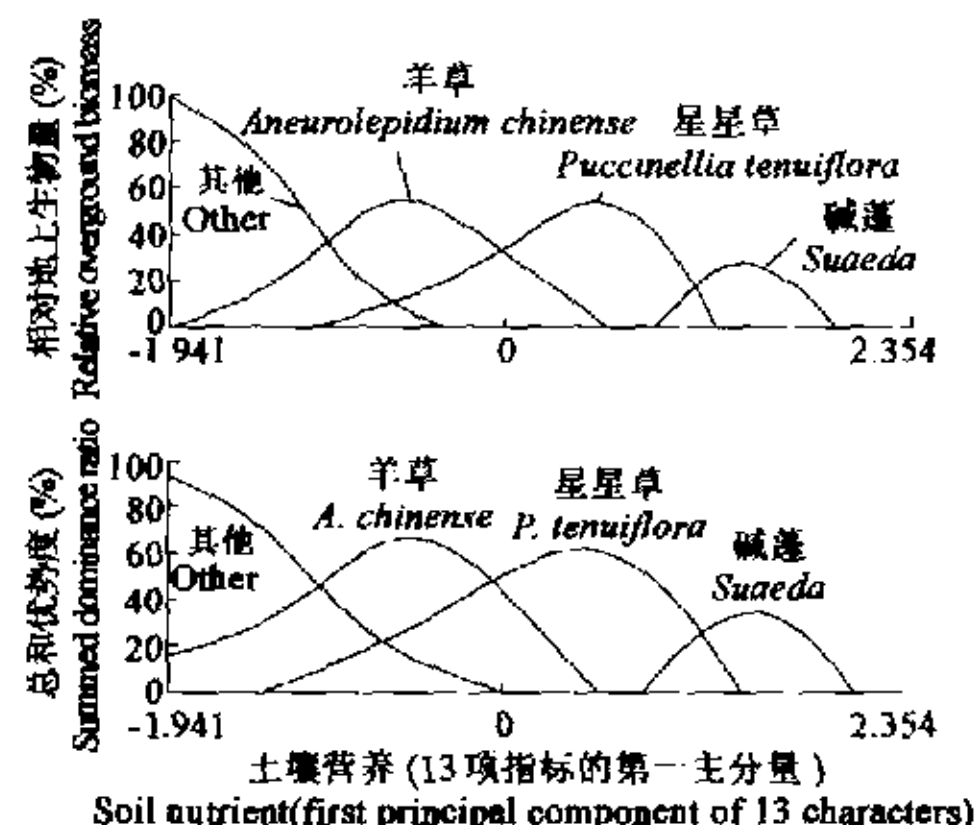


图 1 以 13 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析
Fig. 1 Soil nutrient field analysis by 13 characters stand soil nutrition

表 2 以 13 项指标代表土壤营养的土壤营养位重叠

Table 2 Overlap of soil nutrient field by 13 characters stand soil nutrition

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field				
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda-P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>
W	0.008	0.055	0.008	0.051
S	0.021	0.104	0.035	0.099
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field				
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
	<i>P. tenuiflora</i>	<i>Suaeda</i>	<i>A. chinense</i>	Other
	<i>P. tenuiflora</i>	Other	<i>P. tenuiflora</i>	Other
	<i>P. tenuiflora</i>	Other	<i>P. tenuiflora</i>	Other
W	0.178	0.054	0.330	0.047
S	0.298	0.088	0.448	0.151

从土壤营养位宽度看,以相对地上生物量作为土壤营养位效能时计算的结果中羊草最大,星星草与之相近,它们均优于“其他”植物所占据的土壤营养位宽度以及碱蓬的土壤营养位宽度。这表明羊草和星星草对土壤营养的利用范围较大。

从土壤营养位体积看,以“其他”植物最大,星星草和羊草的土壤营养位体积相近,略小于“其他”的,碱蓬的土壤营养位体积最小。由此可见,尽管星星草和羊草的土壤营养位宽度较大,对土壤营养的利用范围较广,但由于它们的土壤营养位效能较低,即形成的地上生物量相对较小,因而土壤营养位体积并不是最大。

应该指出的是,看到图 1 常容易与各种植物的实际分布面积联系起来。事实上,各种植物的土壤营养位体积并不代表它们的实际分布面积,而只表明它们在土壤营养中的功能位置,即对土壤营养的利用程度和各种间生存竞争的结果。各种植物的实际分布面积取决于它们的土壤营养位宽度所对应的土壤类型在松嫩草地土壤中所占的比例。

土壤营养位重叠的计测对于探讨植物种间关系是非常有用的。从表 2 看,星星草-羊草和羊草-其他的绝对土壤营养位重叠较大,而碱蓬-星星草、星星草-其他的绝对土壤营养位重叠则较小。这在一定程度上反映了它们彼此之间在土壤营养利用上的相似程度。这种在土壤营养利用上的相似程度对每个种群都有一定程度影响。这从相对土壤营养位重叠的计算结果可以得到说明。例如碱蓬和星星草的绝对土壤营养位重叠是 0.008,对于碱蓬的相对土壤营养位重叠是 0.178,而对于星星草的相对土壤营养位重叠则是 0.054。可见,碱蓬与星星草的土壤营养位重叠对碱蓬的影响要强于对星星草的影响。由表 2 可以看出,星星草与羊草的土壤营养位重叠对于二者的影响程度是相似的。同样,星星草-其他、羊草-其他间的情况也是如此。

土壤营养位重叠在一定程度上也反映了植物种间的生存竞争情况。不过,图 1 所显示的是这种生存竞争的结果,即各种植物通过竞争实现了土壤营养位分化而得以共存。

另外,以相对地上生物量作为土壤营养位效能和以总和优势度作为土壤营养位效能进行土壤营养位分析的结果是不完全一样的(图 1),而且计算的土壤营养位宽度、土壤营养位体积和土壤营养位重叠也有差异(表 1 和表 2)。不过,二者在反映各种植物的土壤营养位关系上是一致的。

前文^[13]曾讨论了对土壤指标的选取问题,并分别分析了选择 13 项、9 项、5 项指标进行主分量分析后第一主分量所代表的信息量和可溶盐含量、总碱度、Na⁺含量、有机质含量、全氮含量 5 项主要指标的负荷量。这里,结合土壤营养位测度的计算做进一步分析。

选择 9 项指标和 5 项指标进行的土壤营养位分析结果和相应的土壤营养位测度的计算结果见图 2、图 3 和表 3 至表 6。比较图 1、图 2 和图 3 可以发现,选择 13 项、9 项、5 项土壤指标代表土壤营养进行土壤营养位分析的结果是非常一致的,而且,各项土壤营养位测度的计算结果也是非常相似的(表 1 至表 6)。由此可见,选择 5 项土壤指标代表土壤营养进行土壤营养位分析完全可以说明几种主要植物的土壤营养位关系。而且,与选择 13 项土壤指标代表土壤营养进行的土壤营养位分析结果是一致的。

这对于在生产实践中的具体应用是非常有意义的。对于一个地区的草地,可以选择出有代表性的主要类型,通过上述工作而得出如图 1 所示的土壤营养位分析结果。对于这一地区的具体的某一块草地,便可以经过土壤指标的测定、计算而在土壤营养轴上找到相应的位点,由此便可对该块草地上植被的发展趋势进行分析预测,从而进行合理的改良工作。显然,在上述过程中,能用少数的土壤指标代表土壤营养要比用多项指标好得多。

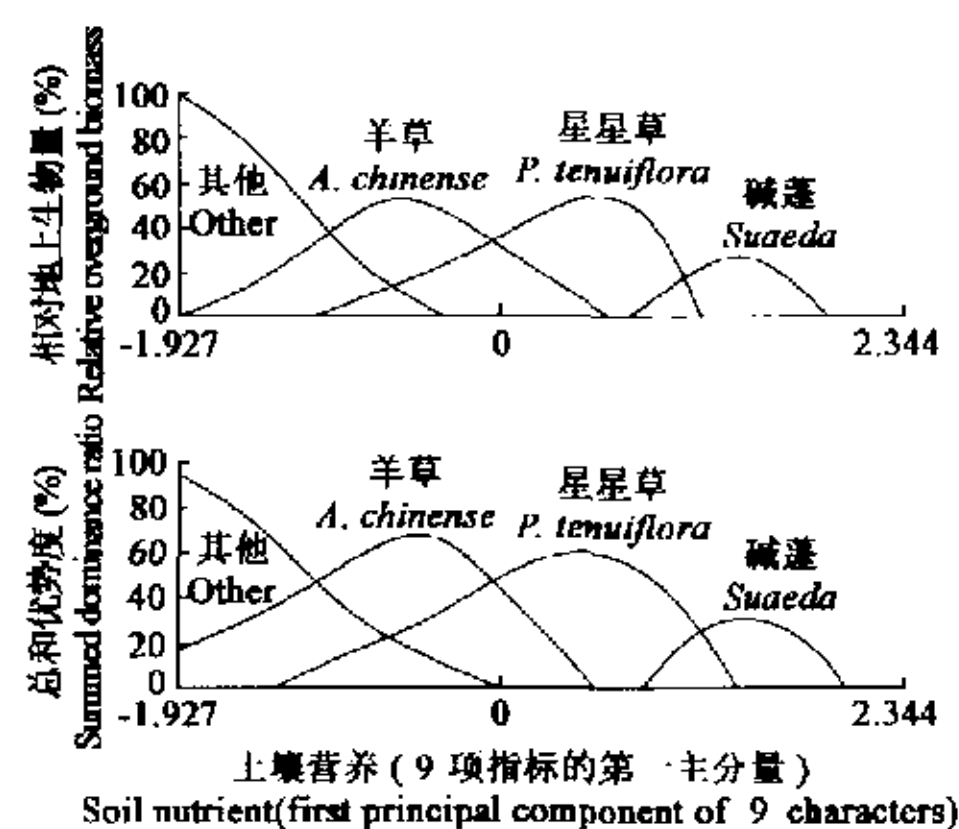


图 2 以 9 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析

Fig. 2 Soil nutrient field analysis by 9 characters stand
soil nutrition

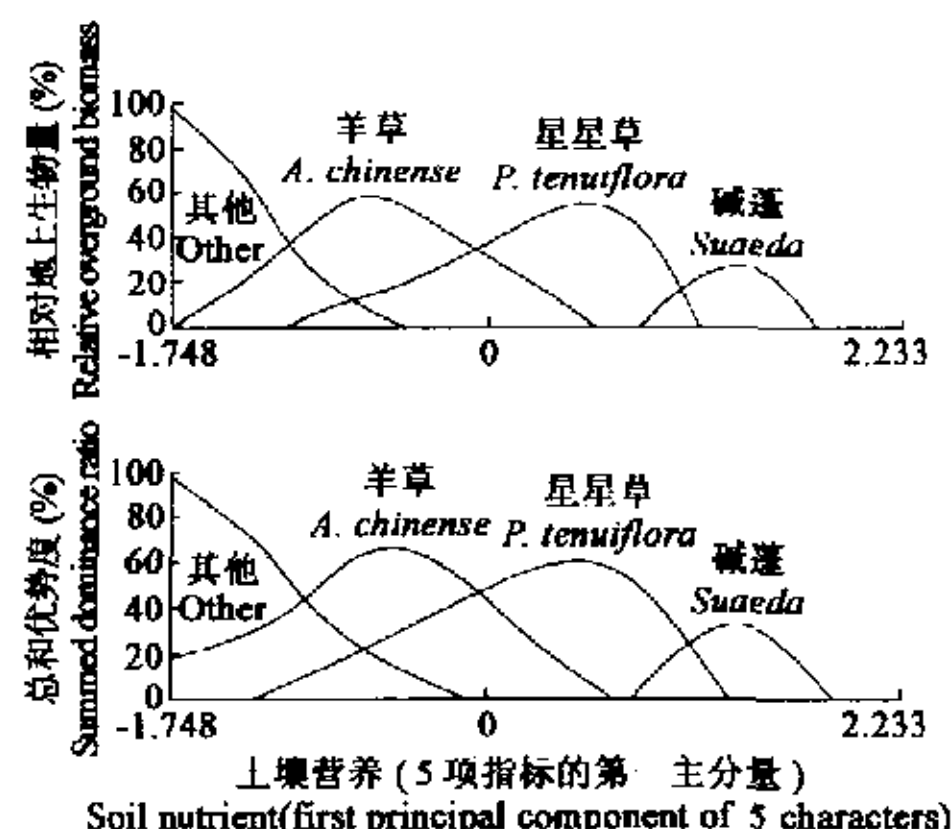


图 3 以 5 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析

Fig. 3 Soil nutrient field analysis by 5 characters stand
soil nutrition

表 3 以 9 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析

Table 3 Soil nutrient field analysis by 9 characters stand soil nutrition

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.338	0.106	-0.138	-0.451	0.338	0.106	-0.138	-0.451
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.262	0.547	0.594	0.367	0.281	0.645	0.582	0.453
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.046	0.171	0.170	0.178	0.069	0.234	0.235	0.195

表 4 以 5 项指标代表土壤营养的土壤营养位分析

Table 4 Soil nutrient field analysis by 5 characters stand soil nutrition

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.345	0.123	-0.155	-0.439	0.345	0.123	-0.155	-0.439
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.248	0.563	0.592	0.345	0.277	0.677	0.618	0.412
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.048	0.171	0.181	0.155	0.064	0.239	0.242	0.171

3.2 几个主要土壤因子的土壤营养位分析

当分别以土壤的可溶盐含量、总碱度、 Na^+ 含量、有机质含量、全氮含量作为土壤营养轴进行土壤营养

位分析时,其结果与以 13 项指标的第一主分量作为土壤营养轴时的土壤营养位分析结果是不同的,而且,它们之间也有差异。因此,这里将对这 5 项主要土壤因子的土壤营养位进行分析。事实上,当以某一土壤因子作为土壤营养轴进行土壤营养位分析时,各种植物的土壤营养位效能数值并不是这一土壤因子的独立作用结果,而是多项土壤因子综合作用的结果。因此,严格地讲,这种土壤营养位分析并不是真正的植物对这一土壤因子利用的土壤营养位分析,而只是从这一土壤因子的角度对土壤营养位进行的一种分析。不过,这种分析对于了解某一土壤因子在植物种群土壤营养位分化结果中的作用是有所帮助的。

表 5 以 9 项指标代表土壤营养的土壤营养位重叠

Table 5 Overlap of soil nutrient field by 9 characters stand soil nutrition

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field				
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda-P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草 其他 <i>A. chinense-Other</i>
W	0.009	0.058	0.008	0.051
S	0.020	0.104	0.034	0.098
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field				
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
W	0.192	0.055	0.340	0.047
S	0.295	0.087	0.447	0.146

表 6 以 5 项指标代表土壤营养的土壤营养位重叠

Table 6 Overlap of soil nutrient field by 5 characters stand soil nutrition

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field								
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>				
W	0.009	0.069	0.010	0.049				
S	0.021	0.116	0.031	0.087				
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field								
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other				
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	其他 Other	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>
W	0.187	0.052	0.405	0.061	0.385	0.274	0.067	0.318
S	0.332	0.086	0.482	0.130	0.476	0.358	0.182	0.506

从可溶盐角度进行的土壤营养位分析中(图 1),各种植物所占据的土壤营养位与以 13 项指标为土壤营养轴时的结果有很大差异。结合各种土壤营养位测度的计算结果(表 7 和表 8)进行比较可以发现,星星草的土壤营养位宽度和土壤营养位体积明显地增大了。碱蓬的土壤营养位宽度和土壤营养位体积也有较大的扩展,而羊草和“其他”的土壤营养位宽度和土壤营养位体积则缩小了。这表明星星草在土壤可溶盐含量上有较广的适应范围,也就是说,在对土壤可溶盐的适应上,星星草比羊草和“其他”有更强的竞争能力。另外,在以 13 项指标代表土壤营养进行土壤营养位分析(图 1)的土壤营养轴的右端,有一段距离没有被任何植物利用,这便是对应松嫩草地土壤中碱斑的部分。而在从可溶盐角度分析时(图 4),这一部分则被碱蓬占据了。这似乎表明,如果仅从可溶盐含量角度考虑,目前的碱斑上是可以自然生长植物的,如碱蓬。因此可以推断,土壤可溶盐含量不是限制植物生长的最主要的因素。

然而,现实的松嫩盐碱草地上确有大面积的碱斑土壤,植物在其上不能自然生长。

表 7 从可溶盐角度进行的土壤营养位分析
Table 7 Soil nutrient field analysis by soluble salt content

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.467	0.033	-0.192	0.388	0.467	0.033	-0.192	-0.388
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.442	0.719	0.438	0.244	0.479	0.793	0.446	0.243
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.079	0.241	0.144	0.075	0.101	0.321	0.187	0.089

进一步从土壤总碱度和 Na^+ 含量角度对土壤营养位进行分析可以发现(图 5 和图 6 及表 9 至表 12),在从总碱度角度分析土壤营养位的土壤营养轴右端,未被利用部分要大于以 13 项指标代表土壤营养进行土壤营养位分析时的未被利用部分,而从 Na^+ 含量角度分析土壤营养位时的未被利用部分更大。由此可以推断, Na^+ 含量和总碱度是限制碱斑土壤上植物自然生长的主要因素。

徐岚^[11]对科尔沁沙地盐生植物群落复合体中主要植物群落的盐分生态进行分析时认为,形成盐生植物群落复合体的主导因素是土壤盐分,它是决定植物群落种类组成、结构、分布格局和种的多样性的主导因素。从前面的分析结果看,土壤盐分同样也是决定松嫩盐碱草地植物种群分布格局的主导因素,但具体而言,盐分中的 Na^+ 含量和总碱度(CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量之和)所起作用更大。

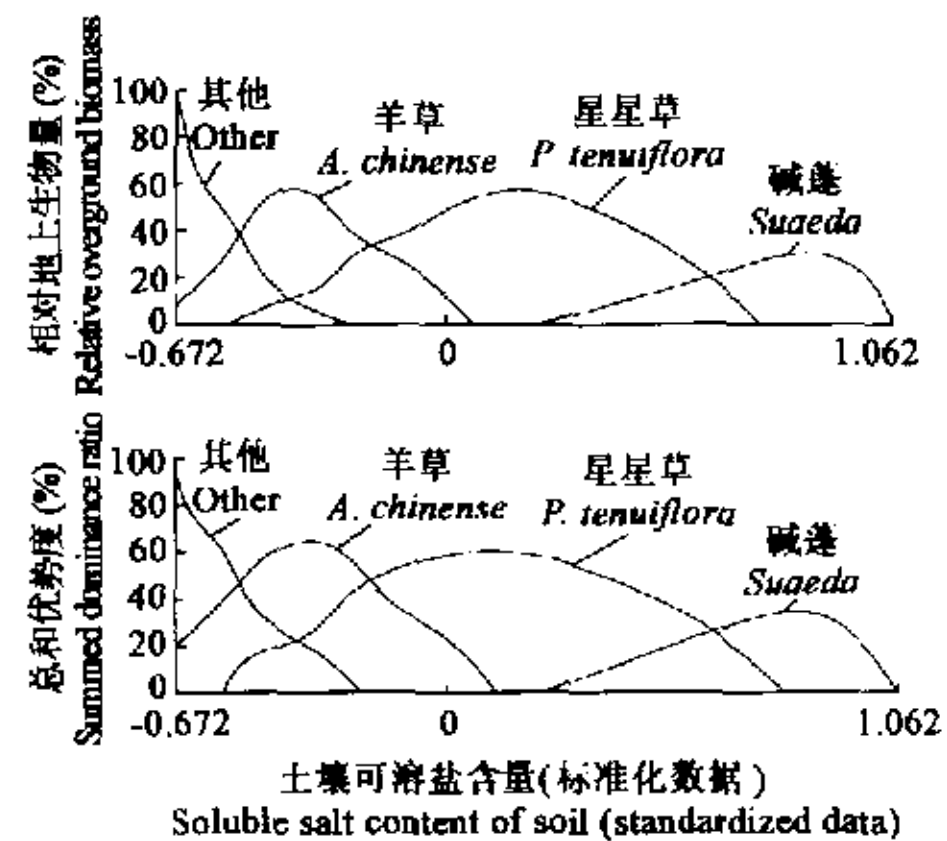


图 4 从可溶盐角度进行的土壤营养位分析
Fig. 4 Soil nutrient field analysis by soluble salt content

表 8 从可溶盐角度分析的土壤营养位重叠
Table 8 Overlap of soil nutrient field by soluble salt content

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field								
	碱蓬 星星草 <i>Suaeda P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora A. chinense</i>	星星草 其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草 其他 <i>A. chinense-Other</i>				
W	0.024	0.061	0.010	0.038				
S	0.049	0.098	0.027	0.062				
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field								
	碱蓬		星星草		羊草		其他	
	<i>Suaeda</i>		<i>P. tenuiflora</i>		<i>A. chinense</i>		Other	
	星星草	碱蓬	羊草	其他	星星草	其他	星星草	羊草
	<i>P. tenuiflora</i>	<i>Suaeda</i>	<i>A. chinense</i>	Other	<i>P. tenuiflora</i>	Other	<i>P. tenuiflora</i>	<i>A. chinense</i>
W	0.301	0.098	0.252	0.041	0.420	0.260	0.130	0.501
S	0.478	0.154	0.306	0.085	0.525	0.332	0.304	0.696

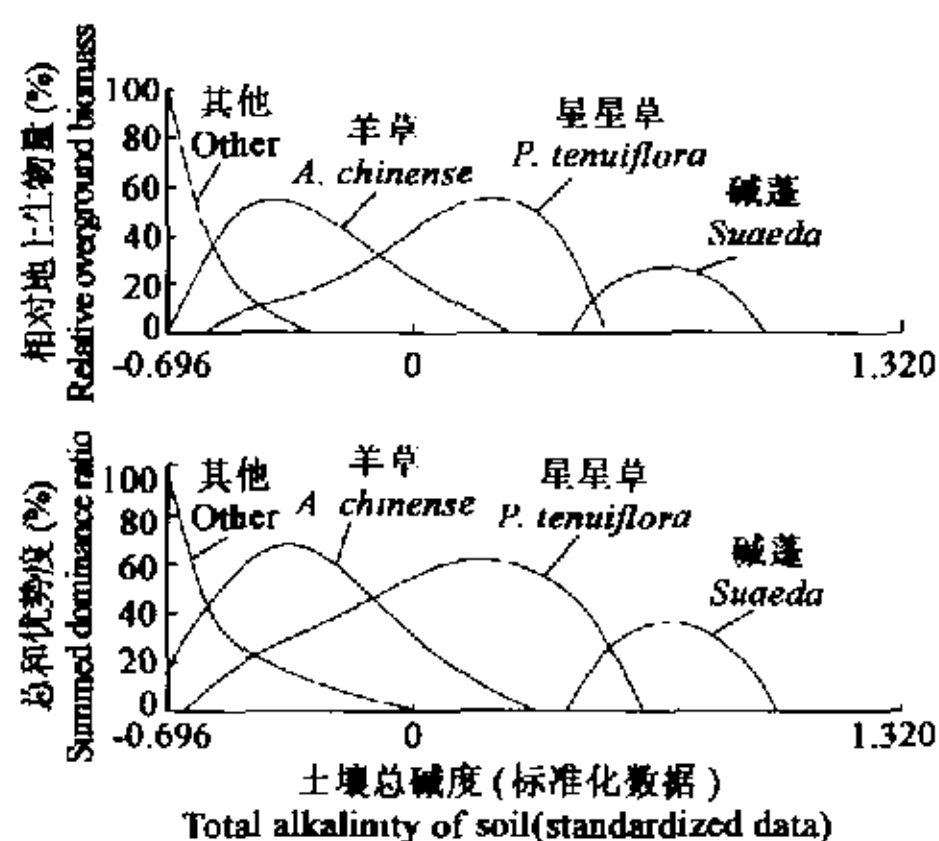


图 5 从总碱度角度进行的土壤营养位分析

Fig. 5 Soil nutrient field analysis by total alkalinity

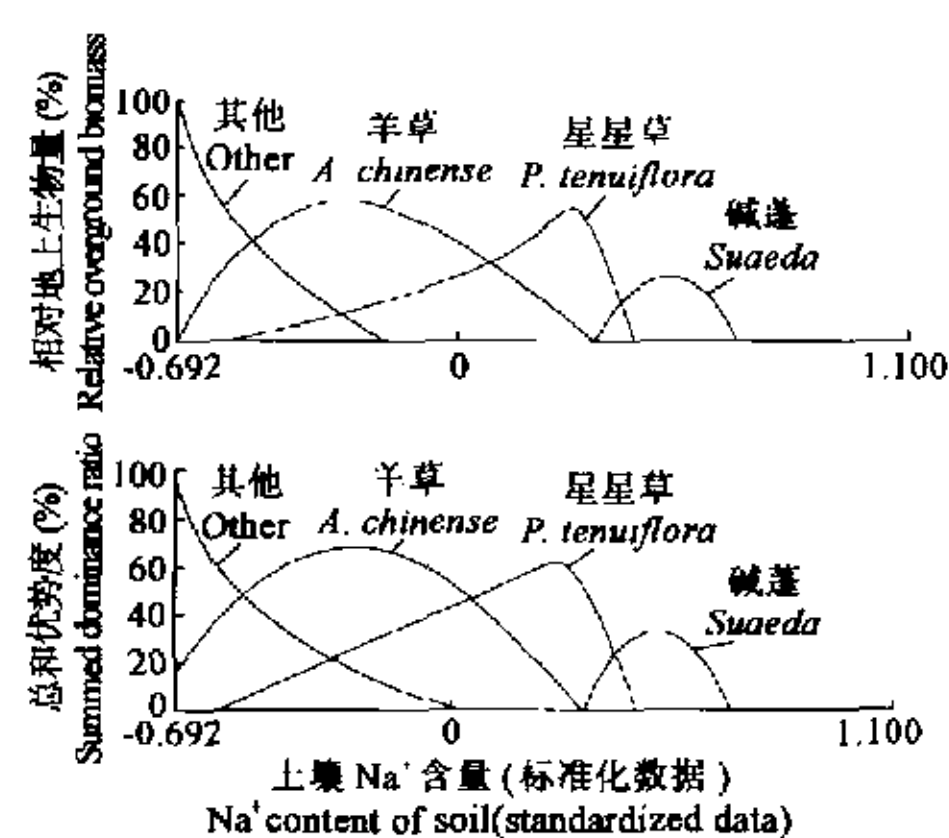
图 6 从 Na⁺ 含量角度进行的土壤营养位分析Fig. 6 Soil nutrient field analysis by Na⁺ content

表 9 从总碱度角度进行的土壤营养位分析

Table 9 Soil nutrient field analysis by total alkalinity

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.356	0.082	-0.211	-0.345	0.356	0.082	-0.211	-0.315
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.277	0.574	0.475	0.215	0.298	0.649	0.508	0.355
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.054	0.187	0.156	0.050	0.077	0.263	0.202	0.070

表 10 从 Na⁺ 含量角度进行的土壤营养位分析Table 10 Soil nutrient field analysis by Na⁺ content

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	0.284	0.157	-0.143	0.386	0.284	0.157	-0.143	0.386
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.189	0.545	0.567	0.318	0.202	0.584	0.571	0.395
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.042	0.126	0.218	0.097	0.055	0.194	0.276	0.113

从图 5 和图 6 可以看到,除碱蓬、星星草、羊草外的“其他”部分所占据的土壤营养位明显地减小了。这说明这些植物对总碱度和 Na⁺ 含量非常敏感,它们只能适应其中很窄的一段范围,而且是集中在总碱度和 Na⁺ 含量较低的一端。在从 Na⁺ 含量角度的分析中,碱蓬的土壤营养位宽度也缩小了。相对而言,星星草和羊草则有明显的优势,但在从总碱度和从 Na⁺ 含量角度分析时,二者的情况也不一样。在对总碱度的适应利用中,星星草较强,因而其土壤营养位体积较大;而在对 Na⁺ 含量的适应利用中,羊草则表现出了较强的竞争能力,其土壤营养位体积明显大于星星草的土壤营养位体积。不过,单就对总碱度和 Na⁺ 含量的耐性

而言,还是星星草优于羊草,因为星星草的土壤营养位中心点更靠近总碱度和 Na^+ 含量较高的 侧。

表 11 从总碱度角度分析的土壤营养位重叠

Table 11 Overlap of soil nutrient field by total alkalinity

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field								
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda-P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>				
W	0.006	0.064	0.009	0.027				
S	0.018	0.111	0.035	0.053				
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field								
	碱蓬 <i>Suaeda</i>		星星草 <i>P. tenuiflora</i>		羊草 <i>A. chinense</i>		其他 <i>Other</i>	
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 <i>Other</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	其他 <i>Other</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>
W	0.108	0.031	0.340	0.051	0.407	0.173	0.188	0.538
S	0.232	0.068	0.421	0.132	0.549	0.262	0.494	0.753

表 12 从 Na^+ 含量角度分析的土壤营养位重叠

Table 12 Overlap of soil nutrient field by Na^+ content

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field								
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda-P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>				
W	0.004	0.074	0.012	0.059				
S	0.012	0.124	0.034	0.090				
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field								
	碱蓬 <i>Suaeda</i>		星星草 <i>P. tenuiflora</i>		羊草 <i>A. chinense</i>		其他 <i>Other</i>	
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 <i>Other</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	其他 <i>Other</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>
W	0.106	0.035	0.585	0.095	0.337	0.270	0.123	0.607
S	0.219	0.062	0.638	0.177	0.449	0.325	0.290	0.755

前面分析的 3 项土壤因子都是对植物的生长起限制作用的,而有机质含量和全氮含量则是对植物生长有促进作用的土壤因子。因此,从有机质含量角度和从全氮含量角度进行的土壤营养位分析结果也另有特点(图 7 和图 8 及表 13 至表 16)。

表 13 从有机质含量角度进行的土壤营养位分析

Table 13 Soil nutrient field analysis by organic content

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 <i>Other</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 <i>Other</i>
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	-0.275	-0.196	0.054	0.622	-0.275	-0.196	0.054	0.622
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.086	0.427	0.829	0.615	0.094	0.564	0.855	0.675
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.017	0.104	0.213	0.367	0.021	0.174	0.313	0.388

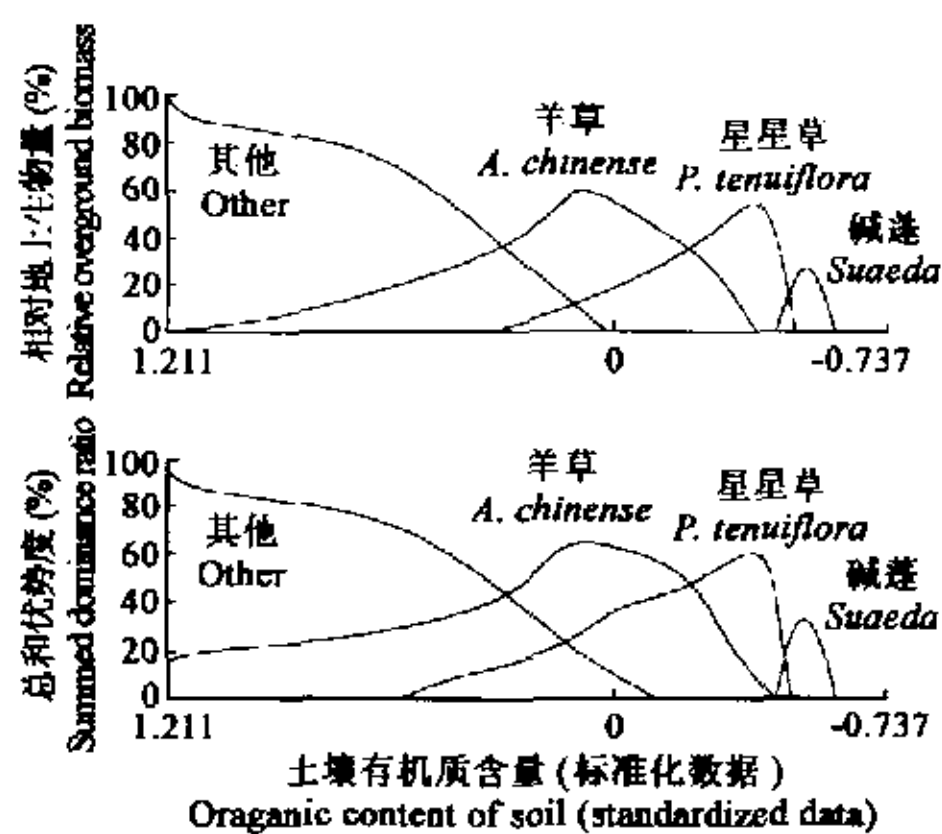


图 7 从有机质角度进行的土壤营养位分析

Fig. 7 Soil nutrient field analysis by organic content

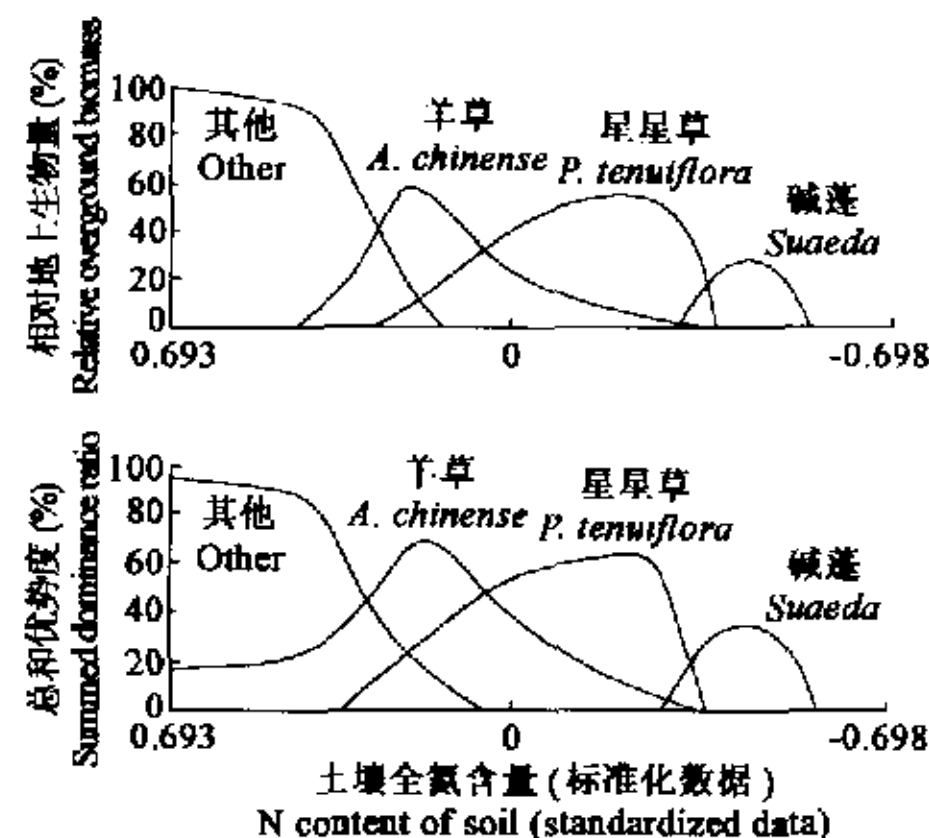


图 8 从全氮含量角度进行的土壤营养位分析

Fig. 8 Soil nutrient field analysis by N content

表 14 从全氮含量角度进行的土壤营养位分析

Table 14 Soil nutrient field analysis by N content

	W				S			
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other
土壤营养位中心点 Center point of soil nutrient field	-0.312	-0.186	0.177	0.498	0.312	-0.186	0.177	0.498
土壤营养位宽度 Breadth of soil nutrient field	0.204	0.471	0.742	0.379	0.213	0.525	0.746	0.442
土壤营养位体积 Volume of soil nutrient field	0.043	0.166	0.126	0.268	0.062	0.225	0.216	0.263

表 15 从有机质含量角度分析的土壤营养位重叠

Table 15 Overlap of soil nutrient field by organic content

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field								
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda-P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora-A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora-Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>				
W	0.002	0.062	0.009	0.091				
S	0.004	0.123	0.040	0.167				
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field								
	碱蓬 <i>Suaeda</i>		星星草 <i>P. tenuiflora</i>		羊草 <i>A. chinense</i>		其他 Other	
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	其他 Other	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>
W	0.122	0.020	0.593	0.084	0.291	0.429	0.024	0.248
S	0.172	0.021	0.707	0.231	0.394	0.535	0.103	0.431

表 16 从全氮含量角度分析的土壤营养位重叠
Table 16 Overlap of soil nutrient field by N content

绝对土壤营养位重叠 Absolute overlap of soil nutrient field						
	碱蓬-星星草 <i>Suaeda P. tenuiflora</i>	星星草-羊草 <i>P. tenuiflora A. chinense</i>	星星草-其他 <i>P. tenuiflora Other</i>	羊草-其他 <i>A. chinense-Other</i>		
W	0.004	0.056	0.005	0.033		
S	0.010	0.114	0.023	0.086		
相对土壤营养位重叠 Relative overlap of soil nutrient field						
	碱蓬 <i>Suaeda</i>	星星草 <i>P. tenuiflora</i>		羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	
	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	碱蓬 <i>Suaeda</i>	羊草 <i>A. chinense</i>	其他 Other	星星草 <i>P. tenuiflora</i>	羊草 <i>A. chinense</i>
W	0.089	0.023	0.338	0.029	0.446	0.264
S	0.159	0.044	0.506	0.101	0.527	0.399

从对有机质营养的利用上看(图7),“其他”部分的竞争能力具有明显的优势,而星星草和碱蓬的竞争能力则明显减弱了。但在对全氮营养的利用上(图8),星星草的竞争优势还是很强的,而羊草的竞争能力则有所减弱。

综合上述分析可见,从可溶盐含量、总碱度、 Na^+ 含量、有机质含量、全氮含量角度进行的土壤营养位分析结果没有一项是和13项土壤指标综合的土壤营养位分析结果非常相近的。这就是说,对于各植物种群土壤营养位的分化结果而言,没有一项土壤因子是起决定性作用的。松嫩盐碱草地植物种群分布格局的形成是上述5项土壤因子综合作用的结果。这5项土壤因子可归纳为两个方面,一是土壤盐分的含量和组成情况,一是土壤的营养状况。

4 讨论

由前面的分析可以看出,松嫩盐碱草地上各种植物是具有各自的土壤营养位的。这种土壤营养位的分化和限定主要是由土壤营养的限制和植物种间的生存竞争所决定的。在图1中,对于碱蓬、星星草和羊草而言,其土壤营养位在右侧的限定显然是土壤营养起着主要的决定作用,特别是碱蓬,在其右侧并没有其他植物与其竞争。由于这些植物对土壤的盐分状况有一定的要求,当土壤进一步变好时便不适应于它们生长,还是由于土壤的变好更适合于它们左侧的植物种群生长,从而使它们在生存竞争中失败,这是一个有待于探讨的问题。

在图9中,把15个类型中每个类型各自的所有植物的地上生物量累加在一起,从而进行了所有植物的总土壤营养位分析。可见,无论是从综合的土壤营养角度,还是从某项土壤因子的角度,草地上着生的全部植物均未能全部占据潜在的全部土壤营养位。这表现在:

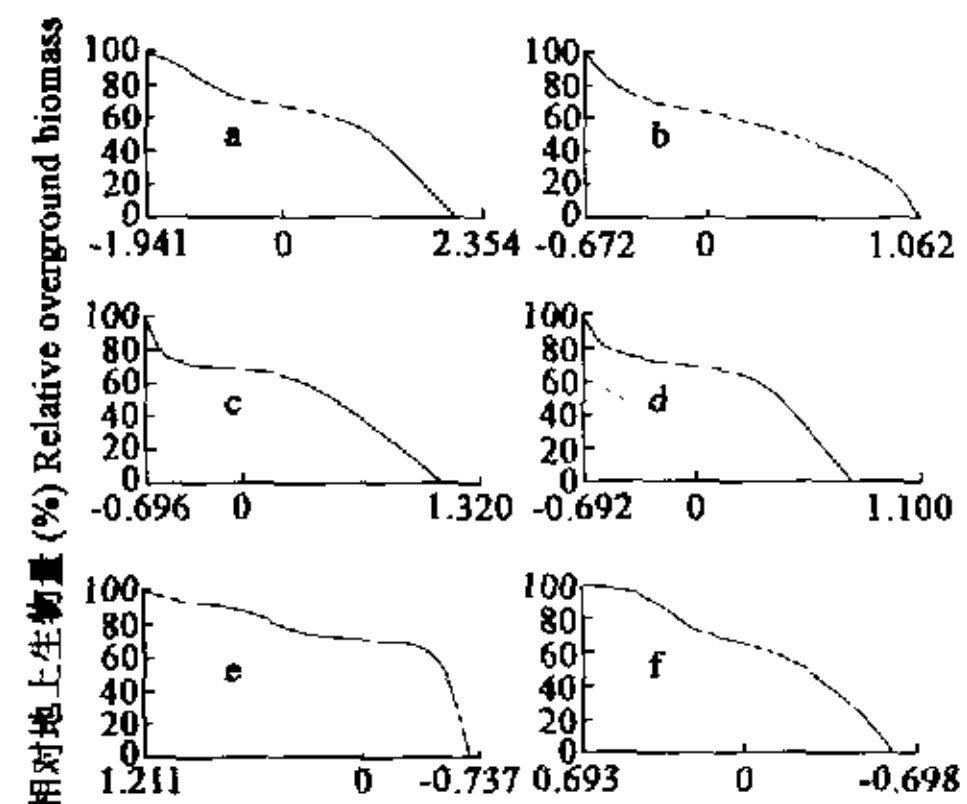


图9 所有植物的总土壤营养位分析

Fig. 9 Soil nutrient field analysis of all plants
X轴:a. 土壤营养(13项指标的第一主分量);b. 土壤可溶盐含量(标准化数据);c. 土壤总碱度(标准化数据);d. 土壤 Na^+ 含量(标准化数据);e. 土壤有机质含量(标准化数据);f. 土壤全氮含量(标准化数据)。X-axis:a. Soil nutrient (first principal component of 13 characters);b. soluble salt content of soil(standardized data);c. Total alkalinity of soil(standardized data);d. Na^+ content of soil(standardized data);e. Organic content of soil(standardized data);f. N content of soil(standardized data)

(1)在土壤营养轴的右端,还有未被植物利用的空余部分;(2)随着土壤营养轴的向右延伸,植物的土壤营养位效能越来越低。由此可以认为,松嫩盐碱草地还具有潜在的土壤营养位有待开发利用。这为通过合理手段对松嫩草地进行改良,提高草地第一性生产力提供了理论依据。结合图 1,开发潜在的土壤营养位至少可以从以下三个方面努力:(1)通过土壤改良,使土壤营养轴相对缩短。这主要是针对于土壤营养轴右端植物不能自然生长的部分而言。(2)通过提高植物的适应能力或土壤改良,使各种植物种群的土壤营养位中心点向右移动。(3)提高右侧植物种群的土壤营养位效能。

在上述对各植物种群的土壤营养位分析中,并没有考虑时间的因素。研究中对 15 个类型进行取样和测定的时间是 6 月份,此期星星草处于开花期,是其地上生物量最大的时期。羊草刚刚进入开花期,其地上生物量尚未达到最大值。碱蓬由于此时刚刚进入雨季,因而也未达到最旺盛的生长时期。因此,以地上生物量代表土壤营养位效能进行的土壤营养位分析会存在一定的量的偏差。不过,这种偏差并不影响各种植物的功能位置。由于各种植物的季节变化是不一致的,因而它们的土壤营养位在季节(时间)上也会有一定的变化。这种变化很可能对它们的土壤营养位分化结果有一定的作用。

另外,从更长的时间尺度上考虑,由于植物和土壤的相互作用,各植物种群的土壤营养位也会发生变化。例如,碱蓬在生长过程中能够从土壤中吸收大量盐分,但当植株死亡后这些盐分便归还到土壤的表层,从而使土壤深层的盐分向表层积累,当积累到一定程度时碱蓬自己也不能生长。又如,星星草在其生长过程中能够降低土壤表层的含盐量,当土壤盐分进一步降低时,羊草便大量侵入,而星星草则在竞争中失败,从而把自己的土壤营养位让给了羊草。这种长时间尺度上土壤营养位的变化实质上反映了植被演替的过程。前述对各种植物土壤营养位的分析实质上是对植被演替过程中一个特定阶段的具体描述。

参考文献

- [1] 张毅力. 浅谈松嫩草地的类型及其应用. 草业科学, 1991, 8(3): 40~42.
- [2] 于明昶. 中国草原的概况及其生产问题. 中国草原, 1985, (4): 1~10.
- [3] 李崇皓. 松嫩平原的植被. 地理科学, 1982, 2(2): 170~178.
- [4] 郑慧莹. 松嫩平原南部植物群落的分类和排序. 植物生态与地植物学学报, 1986, 10(3): 171~179.
- [5] 李建东. 松嫩平原南部的植被与环境相关性的探讨. 植物学报, 1988, 30(4): 420~429.
- [6] 王晓燕. 松嫩平原南部地区盐碱植被的初步研究. 中国草地, 1989, (3): 32~38.
- [7] 杜晓光, 郑慧莹, 刘存德. 松嫩平原主要盐碱植物群落生物生态学机制的初步研究. 植物生态学报, 1994, 18(1): 41~49.
- [8] 张为政. 松嫩平原羊草草地植被退化与土壤盐渍化的关系. 植物生态学报, 1994, 18(1): 50~55.
- [9] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原盐碱植物群落形成过程的探讨. 植物生态学报, 1995, 19(1): 1~12.
- [10] 杨允非, 郑慧莹. 松嫩平原碱斑进展演替实验群落的比较分析. 植物生态学报, 1998, 22(3): 214~221.
- [11] 辛晓平, 高 琼, 李镇清, 等. 松嫩平原碱化草地植物群落分布的空间和环境因素分析. 植物学报, 1999, 41(7): 775~781.
- [12] 阎秀峰, 孙国荣, 李 晶. 盐碱草地植物种群分布与土壤营养关系的一种分析方法——土壤营养位分析. 植物研究, 1999, 19(4): 435~444.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社. 1978.
- [14] 徐 岚. 科尔沁沙地盐生植物群落复合体中主要植物群落的盐分生态. 应用生态学报, 1991, 2(1): 23~31.