

# 土壤盐渍化对玉米田杂草群落多样性和玉米产量的影响

魏天娇<sup>1</sup> 关法春<sup>1\*</sup> 梁正伟<sup>2\*</sup> 解娇<sup>1</sup> 张永锋<sup>1</sup> 黄立华<sup>2</sup> 王明明<sup>2</sup> 陆冠茹<sup>2</sup>

(1. 吉林省农业科学院 农村能源与生态研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

**摘要** 为探究不同土壤盐渍化水平对杂草群落多样性和玉米产量的影响,在松嫩平原西部选取3个不同盐渍化水平的采样点, $T_1$ (低盐渍化), $T_2$ (中盐渍化)和 $T_3$ (高盐渍化)。采用“样方法”分析玉米灌浆期不同土壤盐渍化条件下杂草群落组成,并调查蜡熟期的玉米产量构成因素。结果表明:杂草群落总密度、总盖度和总地上生物量随土壤盐渍化程度的加重而逐渐增加,其中高盐渍化( $T_3$ )条件下的最高,总密度为41.51株/m<sup>2</sup>,总盖度为35.11%及总地上生物量为227.07g/m<sup>2</sup>。不同盐渍化水平的土壤杂草群落中共有的杂草物种数越多,其杂草群落的相似性系数越高。其中,中盐渍化( $T_2$ )和高盐渍化( $T_3$ )条件下的杂草群落之间的相似性系数最大,为0.82。杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数与土壤盐渍化水平均呈不显著正相关,这3个指数随着土壤盐渍化程度的加重而增加。然而,群落Margalef丰富度指数与土壤盐渍化水平呈不显著负相关,该指数随土壤盐渍化程度的加重而降低。此外,同低盐渍化( $T_1$ )相比,高盐渍化( $T_3$ )条件下的玉米产量构成因素中的穗长、行粒数和穗粒重都降低,降低幅度分别为23%,23%和22%。杂草群落多样性指数、均匀度指数和地上生物量均会导致玉米产量构成因素中的穗长、行粒数和穗粒重降低,但不显著,然而,杂草群落丰富度指数与玉米产量构成因素中的穗长、行粒数和穗粒重均呈正相关,但不显著。综上,在一定的土壤EC范围内,随着土壤盐渍化程度的加重,植被群落种类增加,多样性增加,丰富度降低,地上生物量增加,玉米产量性状指标降低,但均未达显著水平。

**关键词** 土壤盐渍化; 玉米田杂草; 群落多样性; 玉米产量

中图分类号 S812

文章编号 1007-4333(2022)10-0044-10

文献标志码 A

## Effects of soil salinization on weed community diversity in maize field and maize yield

WEI Tianjiao<sup>1</sup>, GUAN Fachun<sup>1\*</sup>, LIANG Zhengwei<sup>2\*</sup>, XIE Jiao<sup>1</sup>, ZHANG Yongfeng<sup>1</sup>, HUANG Lihua<sup>2</sup>, WANG Mingming<sup>2</sup>, LU Guanru<sup>2</sup>

(1. Institute of Rural Energy and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

**Abstract** In order to investigate the effects of different soil salinization levels on the weed community diversity in maize field and maize yield, three sampling sites with different salinization levels ( $T_1$ , low salinization level;  $T_2$ , medium salinization level;  $T_3$ , high salinization level) in western Songnen Plain were selected. The composition of weed community under different soil salinization levels during filling stage of maize was studied by using sample method, and the yield component factors during waxy maturity stage of maize were investigated. The results showed that: The total density, total coverage and total aboveground biomass of weed communities increased gradually with the aggravation of soil salinization. The highest total density was 41.51 plant/m<sup>2</sup>, the total coverage was 35.11% and the total aboveground biomass was 227.07 g/m<sup>2</sup> under high salinization level ( $T_3$ ). The similarity coefficient of weed community was higher when the number of common weed species increased under different salinization levels. The similarity

收稿日期: 2021-10-15

基金项目: 吉林省农业科技创新工程博士后基金(C12043207); 吉林省农业科技创新工程(CXGC2021ZY036)

第一作者: 魏天娇, 助理研究员, 主要从事农业生态学研究, E-mail: tianjiao25@126.com

通讯作者: 关法春, 副研究员, 主要从事农业生态学研究, E-mail: guanfachun@163.com

梁正伟, 研究员, 主要从事农业生态学研究, E-mail: liangzw@iga.ac.cn

coefficient between weed community under medium salinization level ( $T_2$ ) and high salinization level ( $T_3$ ) was the largest, which was 0.82. The Shannon-Wiener diversity index, the Simpson diversity index and the Pielou evenness index of weed community were no significant positively correlated with soil salinization, and increased with the aggravation of soil salinization. However, there was no significant negative correlation between the Margalef richness index of weed community and soil salinization, and it decreased with the aggravation of soil salinization. In addition, compared with low salinization level ( $T_1$ ), the ear length, number of kernel per row and grain weight per ear were all decreased by 23%, 23% and 22%, under high salinization level ( $T_3$ ). The diversity index, evenness index and biomass of weed community had no significant negative correlation effect on the ear length, number of kernel per and grain weight per ear. However, there was no significant positive correlation between the richness index of weed community and ear length, the number of kernel per and grain weight per ear. In conclusion, within a certain range of soil EC value variation, with the aggravation of soil salinization, the species and diversity of vegetation community increased, the richness decreased, the aboveground biomass increased, and the yield and traits of maize decreased, but none of them were significant.

**Keywords** soil salinization; weeds in maize field; community diversity; maize yield

东北苏打盐碱地位于吉林省西部的松嫩平原, 作为世界上三大苏打盐碱土集中分布区之一<sup>[1]</sup>, 也是中国受盐碱影响的五大土壤区之一, 盐分主要以  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  为主<sup>[2-3]</sup>, 严重影响植物群落多样性和农田生产力<sup>[4-5]</sup>, 对当地农业生态环境构成重大威胁。因此, 研究土壤盐渍化对玉米田杂草群落多样性和玉米产量的影响, 对农田生产力提升和农田生态环境保护都具有重要意义。

吉林省西部盐碱化土壤农田系统是作物与杂草共生的系统, 农田杂草在该系统中具有双重作用。一方面农田杂草与作物竞争水、肥和光等自然资源, 直接或间接影响着农业生产<sup>[6]</sup>。另一方面, 杂草可以提升土壤的理化性质和生物活性, 防止土壤侵蚀和养分淋失, 缓解环境污染等<sup>[7-9]</sup>。在含盐量高的盐碱地, 天然生长的杂草具有抗旱性和抗盐性, 可用于后续抗性基因库的研究<sup>[8]</sup>。植物的群落多样性易受外界土壤环境因素的影响, 如土壤养分<sup>[10-11]</sup>、土壤水分<sup>[12-13]</sup>和土壤盐碱程度<sup>[4-5]</sup>等。目前, 对于盐碱胁迫影响草地植物生长的研究结果存在争议。在一定范围内, 随着土壤盐碱化的加重, 植被群落种类组成趋向简单, 多样性指数降低, 植被群落的地上生物量反而增加<sup>[4]</sup>。植被会在盐胁迫下出现衰退现象, 并且与土壤盐渍化呈负相关关系<sup>[13]</sup>。但也有研究报道适量盐碱胁迫会促进植物对钠离子的吸收, 提高植株水势以适应外界胁迫环境, 维持自身生长, 加速生命进程, 维持较高的生物量<sup>[14-15]</sup>。但是关于自然盐碱胁迫条件下农田生态系统中杂草群落多样性的研究却鲜有报道。

随着东北松嫩平原土壤盐碱化程度不断扩大,

已严重威胁到植物的最初定植<sup>[16]</sup>。许多研究采用盐碱溶液模拟试验, 发现盐碱胁迫会抑制植物种子萌发<sup>[17]</sup>, 影响幼苗生长发育<sup>[18-20]</sup>。也有研究采用盐碱土和非盐碱土配比的方法发现盐碱胁迫会限制作物光合产物向籽粒的运输, 降低籽粒重量<sup>[21]</sup>, 籽粒品质、千粒重、穗粒数和穗长均呈显著降低趋势<sup>[22]</sup>, 但是对于东北松嫩平原自然条件下不同土壤盐渍化水平对玉米产量影响的研究报道却很少。本研究采用“样方法”分析不同土壤盐渍化水平下杂草群落结构特征, 测定不同盐渍化水平下玉米产量的构成因素, 旨在探究不同土壤盐渍化水平对杂草群落多样性和玉米产量的影响, 以期为盐碱地综合利用与杂草防除提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于松嫩平原西部吉林省大安市红岗子乡境内 ( $45^{\circ}35'58'' \sim 45^{\circ}36'28''$  N,  $123^{\circ}50'27'' \sim 123^{\circ}51'31''$  E), 占地面积约 100  $\text{hm}^2$ 。该区属典型大陆性季风气候, 冬夏季风更替明显, 温差较大。年均气温 4.3  $^{\circ}\text{C}$ , 7 月平均气温 23.5  $^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 413.7 mm, 且 7—9 月降水量占年降水量的 73%, 年均蒸发量 1 749.0 mm, 为降水量的 4~5 倍, 无霜期 137 d。试验区域地势较为平坦, 原为农田, 无遮荫, 土壤为苏打盐碱土。

### 1.2 试验设计

试验农田于 2017 年 5 月 1 日进行农田翻耕起垄, 起垄后播种玉米, 玉米品种为‘郑单 958’, 以复合肥 400  $\text{kg}/\text{hm}^2$  (其中,  $w(\text{N}) = 33\%$ ;  $w(\text{P}_2\text{O}_5) =$

17%； $w(K_2O) = 17%$ ； $w(\text{有机质}) = 20%$ )作为底肥，玉米株行距为60 cm×30 cm。本研究采样选择在2017年8月中旬(玉米灌浆期)杂草发育成熟、生物量相对稳定时期进行，预先收集了9份土壤样本(3个采样点，每个采样点包含3份样品的生物学重复)，然后依据测定的土壤相对电导率(EC)<sup>[23]</sup>，和数据特点按盐碱程度由轻到重划分为3个盐渍化水

平：低盐渍化(T<sub>1</sub>)，中盐渍化(T<sub>2</sub>)和高盐渍化(T<sub>3</sub>)，具体土壤数据，见表1。然后在每个采样点随机选择3个样方(样方面积1 m×1 m)。2017年10月初，玉米蜡熟期在每个采样点收集3个玉米完整穗，烘干称重，并调查其产量构成因素(此时期的杂草未取样调查)。本试验近2年均未施用除草剂。

表1 不同土层盐渍化水平下土壤的电导率

Table 1 Electrical conductivity value of soil under different soil salinization level

土层深度/cm Soil depth	土壤盐渍化水平 Soil salinization level		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
0~10	97.53±0.85 b	111.77±7.17 b	145.27±11.31 a
>10~20	98.20±1.10 b	124.53±24.37 b	365.67±69.50 a
>20~30	102.23±1.75 b	157.63±44.56 b	424.00±96.39 a

注：T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>分别代表低、中和高盐渍化水平。不同的小写字母表示不同土层(0~10、>10~20和>20~30 cm)不同盐渍化水平在0.05水平差异显著。下同。

Note: T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> represent low, medium and high salinization level, respectively.

Different lowercase letters indicate that significant differences among different salinization levels in different soil layers (0-10, >10-20 and >20-30 cm) at 0.05 level. The same below.

### 1.3 测定项目及方法

预先收集0~10、>10~20和>20~30 cm 3个土层的土壤样品。待土样烘干后，研磨过1 mm筛，称30 g土于烧杯中，加入150 mL去离子水，充分搅拌后静置3 h，即可对上清液进行电导率的测定。在每个采样点随机选择3个样方(样方面积1 m×1 m)进行取样，记录样方内杂草的种类、密度、盖度和地上生物量，测定方法参考全淑萍等<sup>[5]</sup>的研究，随后在每个采样点中央钉入木棍做标记，用于后续玉米测产取样，防止重复采集。将杂草带回实验室105℃杀青30 min，然后在80℃下烘干至恒重，计算杂草地上部干重。2017年10月初调查每个玉米穗的穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重和穗粒重。

### 1.4 数据处理及分析

物种重要值计算公式为：

$$\text{重要值(IV)} = (\text{相对频度} + \text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对生物量}) / 5 \quad (1)$$

物种多样性指标 Berger-Parker 多度( $P_i$ )、Margalef 物种丰富度指数(DMG)、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $E$ )和

Simpson 多样性指数( $D$ )和 Sorensen 群落相似性系数(SI)的计算公式如下：

$$\text{Margalef 物种丰富度指数(DMG)} = (S - 1) \times 1 / (\ln N) \quad (2)$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数}(H') = - \sum P_i \times \ln P_i \quad (3)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(E) = H' / \ln S \quad (4)$$

$$\text{Simpson 多样性指数}(D) = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2 \quad (5)$$

$$\text{Sorensen 群落相似性系数(SI)} = 2C / (A + B) \times 100\% \quad (6)$$

式(1)~(6)中：S，群落总物种数目； $N_i$ 为物种*i*重要值； $N$ 为群落所有物种重要值之和； $A$ 、 $B$ 为2个不同群落的物种数目； $C$ ，2个不同群落共有的物种数目。

试验数据整理采用 Microsoft Excel 2016 软件，数据绘图利用 Origin 9.1 绘图软件。利用 SPSS 20.0 软件进行了单因素方差分析(one-way ANOVA)，Duncan 方法进行多重比较( $\alpha = 0.05$ )，Pearson 方法进行的相关系数统计，所有数据均由3

次生物学重复的测量值的平均值±标准误差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落密度、盖度和地上生物量

由表 2 可知,随着土壤溶液 EC 的升高,杂草的种类呈增加趋势,其中  $T_1$  的杂草种类有 7 种, $T_2$  的杂草种类有 9 种, $T_3$  的杂草种类有 13 种。从群落密度统计结果来看, $T_3$  的群落总密度最大,为 41.51 株/ $m^2$ ,其次分别是  $T_2$  的群落总密度(36.73 株/ $m^2$ )和  $T_1$  的群落总密度(22.84 株/ $m^2$ ),但在不同盐渍化水平之间的差异不显著。在  $T_1$  条件下杂草群落总密度排列前三的物种依次为糠稷(*Panicum bisulcatum* Thunb.)、狗尾草(*Setaria viridis* Beauv.)和反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.),分别占该群落植物总密度的 38%、23%和 22%;在  $T_2$  的杂草群落总密度排列前三的物种依次为藜(*Chenopodium album* L.)、反枝苋和紫花地丁(*Gueldenstaedtia vern* Cav.),分别占该群落植物总密度的 24%、22%和 21%。在  $T_3$  杂草群落总密度排列前三的物种依次为反枝苋、藜和糠稷,分别占该群落植物总密度的 30%、23%和 21%。此外, $T_3$  条件下的杂草群落总盖度最高,为 35.11%,分别为  $T_1$  和  $T_2$  的杂草群落总盖度的 2.11 和 1.59 倍。随土壤溶液 EC 的增加,杂草地上生物量逐渐增加, $T_3$  的地上生物量最高为 227.07 g/ $m^2$ , $T_1$  和  $T_2$  分别为 176.48 和 179.24 g/ $m^2$ 。

### 2.2 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落相似性

从表 3 可知, $T_1$  与  $T_2$  和  $T_3$  条件下的共有杂草群落物种数均是 5 个, $T_2$  和  $T_3$  之间的共有杂草群落物种数是 9 个。 $T_1$  条件下的杂草群落和  $T_3$  条件下的杂草群落之间的相似性最低,为 0.50,其次是  $T_1$  和  $T_2$  条件下的杂草群落之间的相似性系数 0.63, $T_2$  和  $T_3$  条件下的杂草群落之间的相似性系数为 0.82。因此,不同盐渍化水平的土壤杂草群落中共有的杂草物种数越多,其杂草群落的相似性系数越高。

### 2.3 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落多样性指数

由表 4 可知,Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )随着盐渍化程度的加重而轻微增加, $T_3$  条件下的  $H'$  分别是  $T_1$  和  $T_2$  的 1.28 和 1.06 倍。

Simpson 多样性指数( $D$ )和 Pielou 均匀度指数( $E$ )的变化趋势与 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )相似,由高到低均表现为  $T_3 > T_2 > T_1$ 。然而, Margalef 物种丰富度指数(DMG)随土壤盐渍化程度的加重而降低, $T_3$  条件下的 DMG 最低,为 3.98,比  $T_1$  条件下的 DMG 降低了 11.03%,比  $T_2$  条件下的 DMG 降低 4%。

### 2.4 不同土壤盐渍化水平下玉米产量构成因素

由表 5 可知,随着土壤盐碱化程度的加重,玉米各产量构成因素呈降低趋势。其中玉米穗长、行粒数和穗粒重均在  $T_3$  下降到最低值,分别比  $T_1$  降低 23%、23%和 22%。在  $T_3$  条件下的秃尖长和穗行数分别比  $T_1$  降低 51%和 11%。说明土壤盐渍化程度越重,根系吸收水分和养分的能力下降越严重,最终导致玉米产量构成因素中的穗长、行粒数和穗粒重降低。

### 2.5 不同土层的土壤溶液 EC 与杂草群落多样性和玉米产量构成性状之间的关系

由表 6 可知,0~10,>10~20 和 >20~30 cm 土壤溶液的 EC 与地上杂草群落 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数均呈正相关,但不显著。EC 与 Margalef 丰富度指数呈负相关关系,但不显著。另外,>10~20 和 >20~30 cm 的土壤溶液 EC 与玉米产量性状指标中的行粒数、百粒重和穗粒重均呈不显著负相关。其中 >10~20 cm 的土壤溶液 EC 与穗长呈显著负相关,相关系数为 -0.702( $P < 0.05$ )。各土层土壤溶液的 EC 与秃尖长均呈不显著负相关。尽管 >10~20 cm 和 >20~30 cm 土壤溶液的 EC 与穗行数呈不显著负相关,但是穗行数一般和玉米品种有关。表明土壤溶液的 EC 一定程度上反映土壤矿质营养分中钠离子含量,促进杂草群落优势物种竞争,使杂草群落多样性增加,但丰富度降低。另外,>10~20 cm 土壤溶液的 EC 对玉米产量性状中的穗长限制作用最强。

### 2.6 杂草群落多样性和玉米产量构成性状之间的相关关系

由表 7 可知,杂草群落 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和杂草群落的地上生物量与玉米产量构成性状指标之间均呈不显著负相关。但是 Margalef 丰富度指数与玉米产量构成因素中的穗长、行粒数和穗粒重之间均呈不显著正相关。此外,杂草群落的地上生物量与穗长和百粒重均呈负

表2 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落密度、盖度和地上生物量

Table 2 Weed community density, coverage and aboveground biomass under different soil salinization levels

种 Species	密度/(株/m <sup>2</sup> ) Density			盖度/% Coverage			地上生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Above-ground biomass		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i> L.	4.94±1.76 a	8.02±4.06 a	12.65±3.91 a	6.78±2.99 a	12.11±5.83 a	14.89±2.95 a	42.52±19.17 a	68.53±42.05 a	105.17±22.69 a
糠稷 <i>Panicum bisulcatum</i> Thunb.	8.64±1.01 a	6.79±2.40 a	8.64±2.91 a	2.89±0.89 a	2.00±0.79 a	4.00±1.50 a	18.11±±6.61 a	9.80±4.67 a	27.28±8.68 a
狗尾草 <i>Setaria viridis</i> Beauv.	5.25±2.63 a	3.40±2.06 a	3.40±1.65 a	3.56±1.82 a	2.33±1.52 a	1.22±0.73 a	14.48±7.29 a	18.52±13.18 a	6.05±3.22 a
猪毛菜 <i>Salsola collina</i> Pall.	0.31±0.25 a	0.62±0.25 a	0.31±0.25 a	0.56±0.45 a	2.00±1.25 a	8.33±6.80 a	74.34±60.70 a	14.26±9.88 a	48.75±39.81 a
蒺藜 <i>Polygonum aviculare</i> L.	0.31±0.25 a	0.31±0.25 a	0.31±0.25 a	0.11±0.09 a	0.11±0.09 a	0.33±0.27 a	0.23±0.18 a	0.23±0.18 a	2.51±2.05 a
藜 <i>Chenopodium album</i> L.	3.09±1.82 a	8.95±0.67 a	9.41±2.19 a	2.67±1.34 a	2.68±1.24 a	4.78±3.09 a	25.56±12.19 a	65.86±50.55 a	32.53±23.87 a
野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i> L.	0.31±0.25 a	0.31±0.25 a	0.31±0.25 a	0.33±0.27 a	0.33±0.27 a	0.22±0.18 a	1.98±1.62 a	1.98±1.62 a	0.80±0.65 a
苍耳 <i>Xanthium strumarium</i> L.			0.62±0.25			0.33±0.16			6.08±4.96
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i> L.	0.62±0.25 a	0.62±0.25 a	0.31±0.25 a	0.22±0.09 a	0.22±0.09 a	0.11±0.09 a	0.07±0.04 a	0.07±0.04 a	0.05±0.04 a
东北风毛菊 <i>Saussurea manshurica</i> Kom.			0.31±0.25			0.11±0.09 a			
黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) Merrill	0.31±0.25			0.22±0.18 a			1.48±1.20		

表 2(续)

种 Species	密度/(株/m <sup>2</sup> ) Density			盖度/% Coverage			地上生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Above-ground biomass		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
紫花地丁 <i>Gueldenstaedtia vern</i> Cav.		7.72±6.30 a	4.32±3.53 a		0.36±0.29 a	0.22±0.18 a			
黄花地丁 <i>Taraxacum mongolicum</i>			0.62±0.50			0.33±0.27 a			0.22±0.18
益母草 <i>Leonurus japonicus</i> Houtt.	0.31±0.25			0.01±0.01					
苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i> L.			0.31±0.25			0.22±0.18			1.60±1.31
合计 Total	22.84±7.98 a	36.73±16.50 a	41.51±16.45 a	16.68±7.69 a	22.14±11.37 a	35.11±16.49 a	176.48±107.16 a	179.24±122.17 a	227.07±104.22 a

注：东北凤毛菊 *Saussurea manshurica* Kom., 紫花地丁 *Gueldenstaedtia vern* Cav. 和益母草 *Leonurus japonicus* Houtt. 的地上生物量低于 0.01 g 的忽略不计。

Note: The above-ground biomass of *Saussurea manshurica* Kom., *Gueldenstaedtia vern* Cav and *Leonurus japonicus* Houtt are ignored below 0.01 g.

相关,但不显著。其中 $R^2$ 分别为 $-0.189$ 和 $-0.224$ 。分等会越剧烈,间接影响玉米产量构成因素中的穗长和百粒重。因此,杂草群落越丰富,与玉米竞争营养、光照和水

表3 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落相似性系数

Table 3 Similar coefficients between different communities under different soil salinization levels

土壤盐渍化水平 Soil salinization level	土壤盐渍化水平 Soil salinization level		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
T <sub>1</sub>		0.63	0.50
T <sub>2</sub>	5.00		0.82
T <sub>3</sub>	5.00	9.00	

注:对角线的左下角为群落共有的物种数,右上角为群落相似性系数。

Note: The lower left corner of the diagonal is the number of common species in the community, the upper right corner is the community similarity coefficient.

表4 不同土壤盐渍化水平下的杂草群落多样性指数

Table 4 Biodiversity indices of different communities under different soil salinization levels

指标 Index	土壤盐渍化水平 Soil salinization level		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
$H'$	1.21±0.16 a	1.46±0.11 a	1.55±0.10 a
$D$	0.69±0.07 a	0.71±0.03 a	0.74±0.03 a
$E$	0.45±0.06 a	0.54±0.04 a	0.57±0.04 a
DMG	4.48±0.02 a	4.15±0.35 a	3.98±0.32 a

注: $H'$ ,Shannon-Wiener 多样性指数; $D$ ,Simpson 优势度指数; $E$ ,Pielou 均匀度指数;DMG,Margalef 丰富度指数。

Note:  $H'$  represents Shannon-Wiener diversity index;  $D$  represents Simpson dominance index;  $E$  represents Pielou evenness index; DMG represents Margalef richness index.

表5 不同土壤盐渍化水平下的玉米产量构成因素

Table 5 The yield component factors of maize under different soil salinization levels

土壤盐渍化水平 Soil salinization level	穗长/cm Ear length	秃尖长/cm Bald length	穗行数 The number of row per ear	行粒数 The number of kernel per row	百粒重/g Hundred grain weight	穗粒重/g Grain weight per ear
T <sub>1</sub>	14.91±0.21 a	1.02±0.06 a	15.44±0.33 a	29.00±1.66 a	27.56±1.15 a	112.60±3.17 a
T <sub>2</sub>	14.82±1.45 a	0.69±0.09 a	16.56±1.00 a	29.78±5.40 a	25.33±1.14 a	112.51±25.21 a
T <sub>3</sub>	11.56±2.00 a	0.50±0.26 a	13.78±2.09 a	22.22±5.60 a	26.13±1.97 a	87.83±20.51 a

表 6 不同土层土壤溶液的 EC 与杂草群落多样性指数和玉米产量构成因素之间的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of soil solution EC in different soil layers with weed community diversity index and yield component factors in maize

指标 (土层/cm) Index (Soil layers)	$H'$	$D$	$E$	DMG	地上生 物量 Above- ground biomass	穗长 Ear length	秃尖长 Rare ear length	穗行数 The number of row per ear	行粒数 The number of kernel per row	百粒重 Hundred grain weight	穗粒重 Grain weight per ear
EC (0~10)	0.486	0.262	0.491	-0.004	0.089	0.001	-0.247	0.12	0.102	0.028	0.15
EC (>10~20)	0.261	0.179	0.268	-0.296	0.377	-0.702*	-0.603	-0.647	-0.522	-0.456	-0.451
EC (>20~30)	0.223	0.156	0.229	-0.257	0.398	-0.665	-0.624	-0.632	-0.468	-0.551	-0.402

注：\* 表明显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Note: \* indicate significant different at 0.05 leve.

表 7 杂草群落特征与玉米产量构成因素之间的相关性分析

Table 7 Correlation analysis between weed community characteristics and yield component factors of maize

指标 Index	穗长 Ear length	秃尖长 Rare ear length	穗行数 The number of row per ear	行粒数 The number of kernel per	百粒重 Hundred grain weight	穗粒重 Grain weight per ear
$H'$	-0.225	-0.016	-0.056	-0.242	-0.078	-0.237
$D$	-0.152	0.153	-0.077	-0.171	-0.113	-0.166
$E$	-0.23	-0.02	-0.06	-0.248	-0.077	-0.241
DMG	0.437	0.052	0.095	0.42	-0.217	0.374
地上生物量 Above-ground biomass	-0.189	-0.013	-0.094	-0.064	-0.224	-0.071

### 3 讨论

#### 3.1 土壤盐渍化对杂草群落结构的影响

土壤溶液的相对电导率作为土壤盐渍化程度的量化指标,可以快速反映田间土壤盐渍化水平<sup>[23]</sup>。杂草群落特征直接关系到后续农田系统生产力<sup>[4-5]</sup>。在本研究中,随着土壤盐渍化程度的加重,杂草群落总密度,总盖度和总地上生物量也随之增加(表 2),这与王硕<sup>[14]</sup>报道的紫花苜蓿较适宜在轻度盐碱胁迫环境下生长的结果具有一致性。表明适量土壤盐分有利于植株生长,同时,土壤盐碱胁迫也会促使植物快速生长,缩短生命周期,最终获得更高的植株生物量<sup>[15]</sup>。然而,杂草群落结构也易受土壤盐碱环境影响。本研究发现当土壤盐渍化程度差别越大,其

杂草群落相似度系数的降低幅度越大(表 3),由此可见,当 0~10 cm 的土壤溶液  $EC \geq 140 \mu s/cm$  时,植物根系吸收养分的能力出现显著降低,最终导致植物的群落结构和组成发生改变。

植物群落的物种多样性主要体现在群落物种数目的差异,是反映群落结构的重要参数<sup>[12]</sup>。本研究结果表明土壤溶液的 EC 与地上杂草群落 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数均呈非显著正相关,但与 Margalef 丰富度指数呈非显著负相关。这与杨利民等<sup>[15]</sup>研究羊草群落多样性的结果相似,表明随着土壤盐渍化水平的升高,土壤盐分也可作为一种矿质养分的来源,促进物种竞争,维持较高的杂草群落多样性指数和均匀度指数。但是在杂草群落中的优势物种的快

速繁殖会抑制其他杂草的正常生长,反而出现物种的丰富度的降低。

### 3.2 土壤盐渍化对玉米产量的影响

在本研究中,随着土壤盐渍化水平的提高,玉米的穗长、行粒数和穗粒重均呈降低趋势(表5)。原因可能在于盐碱土具有高度离散、湿时膨胀、干时板结等结构问题<sup>[2-3]</sup>,其土壤伴随高pH和高浓度 $\text{Na}^+$ ,严重抑制植物根系伸长<sup>[18]</sup>,影响植株幼苗生长<sup>[20]</sup>,限制作物光合能力,降低植物产量<sup>[4,21-22]</sup>。此外, $>10\sim 20$ 和 $>20\sim 30$  cm土层土壤溶液的EC与玉米产量构成因素中的行粒数、百粒重和穗粒重均呈负相关,但不显著。另外, $>10\sim 20$  cm土层土壤溶液的EC与穗长呈显著负相关, $R^2=0.702$ (表6),表明不同土层土壤盐渍化水平会抑制玉米产量,尤其对玉米穗长的影响最大。以上结果与匡朴<sup>[22]</sup>的研究结果具有一致性,即土壤盐渍化主要通过降低玉米的光合性能,限制光合产物向籽粒的运输过程,导致籽粒重量、穗粒数和穗长均显著降低。

### 3.3 不同土壤盐渍化水平下杂草群落对玉米产量性状的影响

农田生态系统大都是以单一的植物主导整个群体,并伴有杂草、昆虫等其他组成的生物体系<sup>[7-9]</sup>。杂草的旺盛生长对农田系统的作用有利也有弊,利在于可以改善土壤理化性质,提高生物多样性,对土壤水分和养分有很好的保持效应<sup>[7-9]</sup>;弊在于杂草会与作物在养分、水分和光照等方面产生竞争,最终限制作物的产量<sup>[6]</sup>。本研究发现杂草群落多样性和均匀度越高,杂草群落的生物量越大,会对玉米产量指标如穗长、行粒数和穗粒重等产生抑制作用,但均不显著。此外,杂草丰富度指数与玉米产量性状如穗长、行粒数和穗粒重呈非显著正相关(表7),可能是因为不同盐渍土条件下某些优势杂草的旺盛生长与作物之间存在某种特定的依存关系,尚需进一步研究杂草对作物生长的影响机制。

## 4 结论

在吉林省西部不同土壤盐渍化水平下,苏打盐碱地农田杂草群落总密度、总盖度和总地上生物量由高到低均表现为高盐渍化( $T_3$ ) $>$ 中盐渍化( $T_2$ ) $>$ 低盐渍化( $T_1$ )。土壤盐渍化程度差异越大,其杂草群落间的相似性系数越低。随着土壤盐渍化程度的加重,杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数均呈增加

趋势,但均不显著。然而,群落Margalef物种丰富度指数反而呈降低趋势,但不显著。高盐渍化水平( $T_3$ )下,玉米产量性状的降低幅度最大。

## 参考文献 References

- [1] 王春裕, 武志杰, 石元亮, 王汝铺. 中国东北地区的盐渍土资源[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 643-647  
Wang C Y, Wu Z J, Shi Y L, Wang R Y. The resource of saline soil in the Northeast China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(5): 643-647 (in Chinese)
- [2] Chi C M, Wang Z C. Characterizing salt-affected soils of Songnen plain using saturated paste and 1:5 soil-to-water extraction methods[J]. *Arid Land Research and Management*, 2010, 24(1): 1-11
- [3] Wang Z C, Li Q S, Li X J, Song, C C, Zhang, G X. Sustainable agriculture development in saline-alkali soil area of Songnen Plain, Northeast China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2003, 13(2): 171-174
- [4] 关法春, 全淑萍, 梁正伟, 张永锋, 王明明, 黄立华, 王超. 松嫩平原西部盐碱化草地典型植被群落生物多样性特征[J]. 中国草地学报, 2021, 43(2): 115-120  
Guan F C, Tong S P, Liang Z W, Zhang Y F, Wang M M, Huang L H, Wang C. Biodiversity characteristics of typical plant communities in saline-alkaline grassland in western Songnen Plain[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(2): 115-120 (in Chinese)
- [5] 全淑萍, 梁正伟, 关法春, 宗宪春, 张永锋, 黄立华, 王明明. 松嫩平原苏打盐碱地羊草人工移栽草地生物多样性特征和生物量[J]. 草地学报, 2019, 27(1): 22-27  
Tong S P, Liang Z W, Guan F C, Zong X C, Zhang Y F, Huang L H, Wang M M. Biodiversity characteristics and biomass of artificial transplanting *Leymus chinensis* grassland in soda saline-alkaline land of Songnen Plain[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(1): 22-27 (in Chinese)
- [6] 蒋敏. 稻麦两熟制农田杂草群落形成及其养分驱动机制研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2014  
Jiang M. Study on the formation of weed community and its nutrient driving mechanism in rice-wheat rotation system[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2014, (in Chinese)
- [7] Wortman S E, Lindquist J L, Haar M J, Francis C A. Increased weed diversity, density and above-ground biomass in long-term organic crop rotations[J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2010, 25(4): 281-295
- [8] 张跃林. 盐碱地杂草的利用[J]. 杂草科学, 2007, 25(3): 9, 40  
Zhang Y L. Utilization of weeds in saline-alkali land[J]. *Weed Science*, 2007, 25(3): 9, 40 (in Chinese)
- [9] 张磊, 欧阳竹, 董玉红, 张志诚, 潘国艳. 农田生态系统杂草的养分和水分效应研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 69-

- 72, 113  
Zhang L, Ouyang Z, Dong Y H, Zhang Z C, Pan G Y. ecological effects of weeds on soil water and soil nutrient in farmland ecosystem [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 69-72, 113 (in Chinese)
- [10] 杨倩, 王妮, 曾辉. 氮添加对内蒙古退化草地植物群落多样性和生物量的影响[J]. *植物生态学报*, 2018, 42(4): 430-441  
Yang Q, Wang W, Zeng H. Effects of nitrogen addition on the plant diversity and biomass of degraded grasslands of Nei Mongol, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(4): 430-441 (in Chinese)
- [11] 杨元武, 周华坤, 李希来, 周旭辉, 高健军, 刘玉, 赵新全, 叶鑫. 高寒草甸物种多样性和生产力对养分添加的初期响应[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(2): 159-166  
Yang Y W, Zhou H K, Li X L, Zhou X H, Gao J J, Liu Y, Zhao X Y, Ye X. Initial response of species diversity and productivity to nutrients addition on alpine meadow[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2017, 26(2): 159-166 (in Chinese)
- [12] 武建双, 李晓佳, 沈振西, 张宪洲, 石培礼, 余成群, 王景升, 周宇庭. 藏北高寒草地样带物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. *草业学报*, 2012, 21(3): 17-25  
Wu J S, Li X J, Shen Z X, Zhang X Z, Shi P L, Yu C Q, Wang J S, Zhou Y T. Species diversity distribution pattern of alpine grasslands communities along a precipitation gradient across Northern Tibetan Plateau[J]. *Acta Praculture Sinica*, 2012, 21(3): 17-25 (in Chinese)
- [13] 杜秉晨曦, 程勇翔, 吴玲. 准噶尔盆地植被与土壤盐渍化负关联性变化趋势分析[J]. *生态学报*, 2021, 41(23): 9364-9376  
Du B C X, Cheng Y X, Wu L. Analysis of negative correlation between vegetation and soil salinization in Junggar Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41 (23): 9364-9376 (in Chinese)
- [14] 王硕. 盐碱胁迫对紫花苜蓿生理指标的影响及耐盐碱能力评价[D]. 长春: 东北师范大学, 2017  
Wang S. Effects of saline-alkaline stress on physiological indexes of alfalfa and evaluation of salt tolerance [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2017 (in Chinese)
- [15] 杨利民, 韩梅, 李建东. 土壤盐碱化对羊草草地植物多样性的影响[J]. *草地学报*, 1997, 5(3): 154-160  
Yang L M, Han M, Li J D. Effect of soil salinization on the plant diversity of *Leymus chinensis* grassland [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1997, 5(3): 154-160
- [16] An Y, Gao Y, Tong S Z, Liu B. Morphological and physiological traits related to the response and adaptation of *bolboschoenus planiculmis* seedlings grown under salt-alkaline stress conditions[J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, [2021-03-05]. DOI: 10.3389/fpls.2021.567782
- [17] Ma H Y, Yang H Y, Lv X, Pan Y P, Wu H T, Liang Z W, Ooi M K J. Does high pH give a reliable assessment of the effect of alkaline soil on seed germination? A case study with *Leymus chinensis* (Poaceae)[J]. *Plant and Soil*, 2015, 394(1-2): 35-43
- [18] Liu X L, Zhang H, Jin Y Y, Wang M M, Yang H Y, Ma H Y, Jiang C J, Liang Z W. Abscisic acid primes rice seedlings for enhanced tolerance to alkaline stress by upregulating antioxidant defense and stress tolerance-related genes [J]. *Plant and Soil*, 2019, 438(1-2): 39-55
- [19] Long R C, Sun H, Cao C Y, Zhang T J, Kang J M, Wang Z, Li M N, Gao Y L, Li X, Yang Q C. Identification of alkali-responsive proteins from early seedling stage of two contrasting *Medicago* species by iTRAQ-based quantitative proteomic analysis [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2019, 157: 26-34
- [20] Guo R, Shi L, Yan C, Zhong X, Gu F, Liu Q, Xia X, Li H. Itonomic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L) seedlings[J/OL]. *BMC Plant Biology*, [2021-05-06]. DOI: 10.1186/s12870-017-0994-6
- [21] 贺奇, 王昕, 马洪文, 冯伟东, 张益民. 盐碱胁迫对宁夏水稻籽粒灌浆及穗部性状的影响[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(6): 1-12  
He Q, Wang X, Ma H W, Feng W D, Zhang Y M. Effects of saline-alkali stress on grain filling and panicle traits of Ningxia rice[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2021, 46 (6): 1-12 (in Chinese)
- [22] 匡朴. 盐胁迫对不同耐盐性玉米品种萌发、苗期生长及产量的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018  
Kong P. Effects of salt stress on seed germination, seedling growth and yield of maize varieties with different salt tolerance [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [23] 张顺, 贾永刚, 连胜利, 付腾飞, 潘玉英. 电导率法在土壤盐渍化中的改进和应用进展[J]. *土壤通报*, 2014, 45(3): 754-759  
Zhang S, Jia Y G, Lian S L, Fu T F, Pan Y Y. Application and improvement of electrical conductivity measurements in soil salinity [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 45(3): 2014, 754-759 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅