

干旱绿洲农田盐渍化对大麦和苜蓿干物质分配的影响

王燕^{1,2} 赵哈林^{1*} 赵学勇¹ 潘成臣^{1,2}

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要 为探讨不同盐渍化梯度下大麦和苜蓿干物质积累和分配的特征与其耐盐机理的关系, 采用大田试验的方法, 通过一个生长季的观测, 研究了不同盐渍化梯度下大麦和苜蓿干物质的积累和分配特征。以非盐渍化大麦地和苜蓿地作为对照, 在作物生长季内, 不同盐渍化梯度大麦和苜蓿茎、叶、根及其他生殖器官的干物质积累和分配特征有所不同。1) 在农艺性状上, 盐渍化对大麦的茎秆生长和繁殖器官的生长发育有显著影响, 其千粒重、单株穗粒数和株高的 G/CK 变幅分别在 80.37%~39.44%、87.95%~45.27% 和 95.10%~50.70% 之间。对苜蓿的茎生长有显著影响, 其株高和主、侧茎长的 G/CK 变幅分别在 69.20%~27.60%、70.80%~30.30% 和 66.00%~16.50% 之间; 2) 在干物质在各器官的积累与分配上, 与 CK 比, 不同盐渍化梯度下大麦和苜蓿的干物质更多的分配在叶和根上, 而向茎的干物质分配比率逐渐减少; 在整个生长季, 随着盐渍化梯度的增加, 大麦和苜蓿各生育期干物质的增长分配中心滞后于 CK 中的作物; 3) 在地上部分配比率和根冠比上, 随盐渍化梯度的增加, 大麦和苜蓿地上部的分配比率降低, 而根冠比提高。在盐渍化过程中, 大麦和苜蓿通过将干物质更多的转移到根和叶器官上, 同时减少干物质向茎秆的分配比率以及降低地上部的分配比率和提高根冠比的途径来适应盐胁迫。

关键词 盐渍化; 干物质; 根冠比; 苜蓿; 大麦

中图分类号 S 512.03

文章编号 1007-4333(2013)03-0061-07

文献标志码 A

Influence of salinization on dry matter partitioning of *Medicago sativa* and *Hordeum vulgare* in arid oasis

WANG Yan^{1,2}, ZHAO Ha-lin^{1*}, ZHAO Xue-yong¹, PAN Cheng-chen^{1,2}

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,

Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The research was aimed to clarify the relationship between traits of dry matter accumulation and distribution of alfalfa and barley and salt-tolerant mechanism. The traits of dry matter accumulation and distribution of alfalfa and barley in different salinization gradients were studied at one-growing-season under field conditions. A non-salinized plot was used as the control. There were evident differences in the traits of dry matter accumulation and distribution of tissues in alfalfa and barley from the different salinization gradients. 1) In agronomic traits, salinization had significant impacts on stem and ear of barley. The change range of G/CK in dry weight of grains per plant, number of grains per ear and plant height were 80.37% - 39.44%, 87.95% - 45.27% and 95.10% - 50.70% respectively. However, alfalfa stem was most sensitive to increasing salt stress. The change range of G/CK in plant height and length of main branch and secondary branch was 69.20% - 27.60%, 70.80% - 30.30% and 66.00% - 16.50% respectively. 2) In dry

收稿日期: 2012-10-08

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB421303); 国家自然科学基金资助项目(30972422); 国家科技支撑项目(2011BAC07B02-06)

第一作者: 王燕, 博士研究生, E-mail: wang1983yan0210@163.com

通讯作者: 赵哈林, 研究员, 主要从事生态恢复和土壤盐渍化研究, E-mail: Resdiv@lzd.ac.cn

matter accumulation and distribution, salinization resulted in more distribution of dry matter in root and leaf than stem. The accumulation center of dry matter in two plants was slower in salinization gradients than the CK plant at any growth stage. 3) The dry matter distribution ratio of above-ground decreased with salinization gradients, but increasing in root/shoot ratio for both alfalfa and barley. It is evident that both alfalfa and barley adapted to salt stress by distributing more dry matter in root and leaf but not in the stem.

Key words salinization; dry matter; root/shoot ratio; *Medicago sativa* L.; *Hordeum vulgare* L.

在长期适应自然环境过程中,植物发展了一套最适宜自身生长发育的生理生态特点,并采取各种不同的途径来抵御或忍耐逆境胁迫的影响^[1]。在植物各种抵御或忍耐逆境胁迫的生理生态反应中,干物质分配被认为是植物适应逆境胁迫的重要策略之一,干物质分配过程在一定程度上影响着植物的生长速度、生长模式、获取资源能力以及形态建成等^[2-3]。盐胁迫作为限制植物生长的环境因子,在土壤次生盐碱化已成为重要的环境问题之一^[4-5]的今天显得尤为突出。关于盐胁迫下作物生长发育、光合产物分配格局和动态,作物抗盐、耐盐生理生态响应机制已成为农业科学和生态学领域研究的重要课题^[6-7]。而目前,关于植物在逆境胁迫中干物质分配的研究大多集中在干旱环境下^[8-9],尤其在作物栽培方面。而关于盐胁迫环境中植物干物质分配的研究相对较少^[10],且大都在室内采用盆栽培养和人为配置盐胁迫梯度的方法进行。关于植物在大田试验条件下在一个连续的盐渍化梯度中各器官的干物质积累和分配特征的研究尚不多见。基于此,本研究选取我国西北地区主要作物之一^[11-14]的苜蓿(*Medicago sativa* L.)和在农作物中有较强的耐盐性而可能成为盐土上的先锋作物的大麦(*Hordeum vulgare* L.)为试验材料,研究不同盐渍化梯度下苜蓿和大麦各生育期的干物质积累和分配特征,旨在为盐渍环境中植物的抗盐或者耐盐机理研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省河西走廊中部的临泽县草地生态试验站,海拔 1 390 m,地理位置为 100°02′(E),39°15′(N),面积 280 hm²,属典型的大陆性荒

漠气候类型。年均温 7.6 ℃,最高温 39.1 ℃(7月),最低温 -28 ℃(1月),年均风速 2.9 m/s,大于 8 级的大风日数 21.7 d;年降水量 121.51 mm,7—9 月降水量占全年降水量的 64.7%;年蒸发量 2 337.6 mm,是降水量的 20 多倍;干燥度 5.08,无霜期 179 d。地下水埋深 1.5~2.0 m,2 m 表层水矿化度为 2.68 g/L,100 m 深层水矿化度为 0.37 g/L。地带性土壤属灰棕漠土,表层为风沙土,部分地段为盐渍土,分布面积 200 hm²。从盐分成分看,以硫酸盐为主,SO₄²⁻ 约占离子总量的 33% 以上, Mg²⁺ 占 25%, Na⁺ 占 16%,此外含微量的 CO₃²⁻ 与 HCO₃⁻。盐分表聚强烈,是河西盐渍化土壤的代表类型。

在水文地质条件上,临泽县地处祁连山与合黎山的前倾斜盆地,形成冲积和洪积地带。盆地内基岩构造与风化裂隙发达,促使祁连山的冰雪融水和降水渗入裂隙,汇集于沟谷、河床,排泄到冲积平原,以地表径流及地下潜流和沿途渗漏等形式汇集到盆地,形成埋深达 5~200 m 的较丰富的地下水,甚至溢出地表成泉,有的地区由于压差造成自喷。

1.2 试验设计

试验于 2011 年 5—9 月进行。在大麦和苜蓿农田,盐渍化处理由 3 个盐渍化梯度构成,分别为轻度(S1)、中度(S2)和重度(S3)盐渍化农田,土壤孔隙电导率(EC_p)值分别为 2~4、4~8 和 8~16 dS/m。划分标准依据国际上采用的作物生长状况与土壤电导率关系的盐度分类标准^[15]。非盐渍化农田被设置为对照处理(CK)。在 2011 年 4 月各梯度样地被选定,选择标准为作物出苗情况结合 0~10 cm 土层土壤孔隙电导率(EC_p)。各梯度样地随机排列,每个梯度 3 块重复样地,共 24 块样地。各梯度土壤理化性状见表 1。

表 1 不同盐渍化梯度农田土壤的理化性状

Table 1 Soil physico-chemical characteristics in different salinization gradient farmlands

作物 Crop	盐渍化阶段 Salinization stage	土壤剖面含								
		盐量的均值/ (dS/m) Average soil salinity(EC _p) of soil profile	有机质/ (g/kg) Organic matter	全氮/ (g/kg) Total nitrogen	全钾/ (g/kg) Total potassium (K ₂ O)	全磷/ (g/kg) Total phosphorus (P ₂ O ₅)	碱解氮/ (mg/kg) Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效磷/ (mg/kg) Available phosphorus (P ₂ O ₅)	速效钾/ (mg/kg) Available potassium (K ₂ O)	容重/ (g/cm ³) Soil bulk density
大麦 Barley	CK	2.11	13.48	0.86	12.44	1.37	50.89	5.77	240.00	1.36
	S1	2.68	14.11	0.87	12.67	1.49	55.37	13.11	232.22	1.28
	S2	2.87	10.96	0.65	11.78	1.30	43.52	4.33	396.67	1.39
	S3	4.56	8.69	0.57	11.89	1.27	35.02	5.70	400.00	1.43
苜蓿 Alfalfa	CK	2.37	9.19	0.52	14.33	1.61	36.35	21.16	118.89	1.29
	S1	2.84	10.86	0.62	14.00	1.66	41.65	25.52	123.33	1.32
	S2	6.08	10.05	0.63	12.56	1.38	28.40	18.70	450.00	1.28
	S3	7.16	8.20	0.47	11.89	1.39	24.71	30.36	443.33	1.34

供试材料紫花苜蓿金皇后的播种量为 5.25 kg/hm², 播种期为 2010 年 9 月 20 日, 2011 年 6 月 22 日、7 月 14 日和 9 月 16 日刈割 3 茬。各梯度播前施磷酸二铵((NH₄)₂HPO₄ 中 N 和 P) 225 kg/hm², 尿素(CO(NH₂)₂ 中 N) 75 kg/hm²。大麦甘啤 4 号的播种量为 3.75 kg/hm², 播种期为 2011 年 3 月 12 日, 收获期为 7 月 22 日。各梯度播前施磷酸二铵((NH₄)₂HPO₄ 中 N 和 P) 375 kg/hm², 尿素(CO(NH₂)₂ 中 N) 75 kg/hm², 播后 4~8 周, 追施尿素(CO(NH₂)₂ 中 N) 300 kg/hm²。田间管理: 与大田一致。在 2010 年 11 月, 苜蓿和大麦地各梯度灌冬水 100 m³/hm²。2011 年生长季, 大麦整个生育期灌水 1 次, 灌水时间为 5 月下旬—6 月上旬。苜蓿地整个生育期灌水 4 次, 灌水时间分别为 5 月下旬—6 月上旬、6 月下旬—7 月上旬、7 月下旬—8 月上旬和 8 月下旬—9 月上旬。每次灌水 100 m³/hm²。

1.3 测定项目及方法

生长发育状况调查: 每梯度选长势一致的植株挂牌标记, 分别在大麦和苜蓿的各生长期取生长状态一致的植株 10 株, 苜蓿测量株高、主枝叶片数、主茎节数、主茎粗、主根粗、分枝数、主枝长、最大侧枝长和主根长。大麦测量株高、主茎粗、穗长和每穗籽粒数。并按不同部位分开, 于 60 ℃ 烘干后测各部分器官干物重。产量分析: 大麦取每个梯度内 1 m² ×

1 m² 样方齐地面刈割, 测定籽粒鲜重。

1.4 数据统计

利用 Excel 和 SPSS 15.0 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐渍化梯度的盐胁迫对作物农艺性状的影响

在不同盐渍化梯度的盐分胁迫下, 大麦的株高、穗长、主茎粗、单株穗数、千粒重和单株穗粒数都有不同程度的降低, 且不同农艺性状对盐渍化过程中的盐胁迫的响应程度不同。从表 2 可看出, 盐渍化中盐胁迫对大麦千粒重的影响最大, G/CK 变幅在 39.44%~80.37% 之间, 其次是单株穗粒数 > 穗长 > 株高, 且其 G/CK 在 S1 与 S2 和 S3 间差异极显著 ($P < 0.01$)。而盐胁迫对主茎粗和单株穗数的影响差异不显著 ($P > 0.05$)。这说明盐渍化对大麦的茎秆生长和繁殖器官的生长发育有显著影响。不同盐渍化梯度的盐分胁迫对苜蓿第一茬植株性状的影响见表 3。从表中可看出, 盐渍化中盐胁迫对苜蓿株高和主、侧茎长的影响最大, 其 G/CK 在 S1 和 S2 和 S3 间差异极显著 ($P < 0.01$), 其次是主根粗、主枝节间数和主根长, 其 G/CK 在 S1 与 S3 间差异显著 ($P < 0.05$), 而对分枝数的影响相对较小。这说明盐渍化中盐胁迫对苜蓿的茎生长有显著影响。

表2 不同盐渍化梯度大麦成熟期农艺性状的相对变化(梯度/对照)

Table 2 Relative changes of barley agronomic traits at harvest in different salinization gradient farmlands (G/CK) %

盐渍化梯度 Salinization gradient	株高 Plant height	主茎粗 Stem diameter	穗长 Ear length	单株穗数 Number of ears per plant	单株穗粒数 Number of grains per plant	千粒重 1000-grain weight	籽粒产量 Grain yield
S1	95.10 A	89.40 a	90.18 A	93.38 a	87.95 A	80.37 A	95.31 A
S2	56.10 B	83.00 a	51.47 B	80.88 a	49.93 B	51.99 B	46.13 B
S3	50.70 B	77.70 a	46.70 B	77.94 a	45.27 B	39.44 B	41.06 B

注:同列不同英文字母代表差异显著,其中小写字母代表差异显著($P < 0.05$),大写字母代表差异极显著($P < 0.01$)(LSD法)。下同。

Note: Values in each column with the different letter are significantly different, in which small letters indicate significant difference at 0.05 level, capital letters indicate very significant difference at 0.01 level (LSD). The same as below.

表3 不同盐渍化梯度苜蓿第一茬农艺性状的相对变化(梯度/对照)

Table 3 Relative changes of alfalfa agronomic traits at first-cut in different salinization gradient farmlands (G/CK) %

盐渍化梯度 Salinization gradient	株高 Plant height	分枝数 Twigs per plant	主枝节间数 Node number of main branch	主枝叶片数 Leaves number	主茎粗 Stem diameter	主根长 Length of tap root	主枝长 Length of main branch	侧茎长 Length of secondary branch	主根粗 Diameter of tap root
S1	69.20 A	82.30 a	83.80 a	59.10 a	80.80 a	84.50 a	70.80 A	66.00 A	73.30 a
S2	48.10 B	71.00 a	67.70 ab	54.50 a	59.00 a	68.80 ab	51.00 B	39.70 B	58.90 ab
S3	27.60 C	68.20 a	57.60 b	38.10 a	57.70 a	58.80 b	30.30 C	16.50 C	46.30 b

2.2 不同盐渍化梯度下大麦和苜蓿干物质在各器官的积累与分配特征

干物质分配比率在一定程度上能反映作物在受到盐胁迫时的生存对策。表4是大麦在不同盐渍化梯度下各生育期干物质在各器官的分配比率。从表中可看出,在分蘖期(拔节前),干物质在各器官的分配比率大小顺序,在CK和S3为根>叶>茎,在S1与S2为叶>根>茎。其原因在于CK土壤环境资源充足,从而促使大麦根系的良好生长,因此根系干物质所占比率最大;而S3环境条件恶劣,水分、养分匮乏,盐胁迫严重制约着作物的生长发育,为了能从土壤中获取更多的营养物质,干物质则更多的

转移到根器官上,因此根系干物质所占比率也最大。而S1和S2土壤环境条件介于CK和S3之间,因此根系干物质所占比率居中。但方差分析表明,不同器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异均不显著($P > 0.05$)。在拔节期,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在CK为茎>叶>根,在S1为茎>根>叶,在S2为根>茎>叶,而在S3为叶>根>茎,且叶干重的分配比率S3分别与CK和S1和S2间差异显著($P < 0.05$)。这说明在拔节期,随着盐渍化程度的增加,干物质向大麦茎秆的分配比率逐渐降低,而更多的分配给叶和根,以获取更多的水分和养分等环境资源来维持自身的生长。在灌浆

表4 不同盐渍化梯度大麦各器官占总干物重的比例

Table 4 Dry matter partitioning ratio of different parts of barley in different salinization gradient farmlands %

盐渍化梯度 Salinization gradient	分蘖期 Tillering stage			拔节期 Jointing stage			灌浆成熟期 Grain filling and mature stage			
	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	穗 Ear	根 Root
CK	38.12 a	22.07 a	39.81 a	27.46 b	47.52 a	25.02 a	7.22 b	26.52 a	51.22 a	15.05 a
S1	40.84 a	20.37 a	38.80 a	25.08 b	41.03 a	33.89 a	7.99 b	24.37 a	53.71 a	13.94 a
S2	40.02 a	20.61 a	39.37 a	26.13 b	35.84 a	38.02 a	8.88 ab	26.37 a	50.03 a	14.72 a
S3	31.34 a	25.07 a	43.59 a	42.68 a	26.90 a	30.42 a	11.51 a	25.79 a	54.40 a	8.30 a

成熟期,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在 CK、S1 和 S2 为穗>茎>根>叶,在 S3 为穗>茎>叶>根。方差分析表明,除叶干重的分配比率 S3 分别与 S2 和 CK 间差异显著外($P<0.05$),其他各器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异均不显著($P>0.05$)。在此期,各器官干物质的分配比率大小顺序与大麦在灌浆开始后干物质向茎秆的分配比率停止增加,随后叶干重所占比例也直线下降,而抽穗后穗一直保持直线增长直到生育期结束的生长规律是一致的。由此可看出,在大麦整个生长季中,随着盐渍化程度的增加,为维持自身的生长干物质更多的分配在光合器官和营养器官叶和根上,各生育期干物质的增长分配中心滞后于 CK 中的作物。

苜蓿在不同盐渍化梯度下各生长阶段干物质在各器官的分配比率见表 5。从表中可以看出,在返青后的营养生长期,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在 CK、S1、S2 和 S3 中均为茎>叶>根。方差分析表明,叶干重的分配比率 S3 显著大于 S1 和 S2($P<0.05$),其他各器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$)。这是由于对苜蓿而言,叶是营养器官和光合器官,为了尽可能多的合成光合产物和积累干物质,相对于其他盐渍化梯度,S3 干物质更多的分配在叶器官上。在第 1 茬时,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在 CK、S1 和 S2 中为茎>叶>根,但 S3 中为根>叶>

茎。其原因也在于,S3 环境条件恶劣,水分和养分匮乏,盐胁迫严重制约着作物的生长发育,为了维持作物自身的生长,干物质则更多的转移到根器官上以便能从土壤中获取更多的营养物质,因此根系干物质所占比率最大,茎的干物质分配比率最小。但方差分析表明,各器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$)。在第 1 茬后的营养生长期,干物质在各器官的分配比率大小顺序,CK、S1 和 S2 中为茎>根>叶;S3 中为根>茎>叶。方差分析表明,茎的干物质分配比率 CK 显著大于 S3($P<0.05$),其他各梯度间茎干重的分配比率差异不显著($P>0.05$)。在第 2 茬,干物质在各器官的分配比率大小顺序,CK 中为茎>根>叶,S1、S2 和 S3 中为茎>叶>根。在第 2 茬后的营养生长期,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在 CK 和 S1 中为根>茎>叶,在 S2 和 S3 中为根>叶>茎。方差分析表明,茎的干物质分配比率 S1 显著大于 S2 和 S3($P<0.05$),其他各器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$)。在第 3 茬时,干物质在各器官的分配比率大小顺序,在 CK 中为茎>根>叶;在 S1、S2 和 S3 中为根>茎>叶。方差分析表明,各器官的干物质分配比率在不同盐渍化梯度间差异均不显著($P>0.05$)。由此说明,在苜蓿生长季,随着盐渍化梯度的增加,干物质向茎的分配比率逐渐减少,而向根和叶器官的分配比率逐渐增加,以此来适应盐胁迫对

表 5 不同盐渍化梯度苜蓿各器官占总干物重的比例

Table 5 Dry matter partitioning ratio of different parts of alfalfa in different salinization gradient farmlands %

盐渍化梯度 Salinization gradient	营养生长期 Vegetative growth stage			第一茬 First-cut			营养生长期 Vegetative growth stage		
	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	根 Root
	CK	32.25 ab	47.86 a	19.89 a	29.14 a	51.42 a	19.44 a	22.49 a	48.23 a
S1	28.78 b	46.89 a	24.33 a	31.45 a	36.39 a	32.16 a	22.98 a	45.05 ab	31.97 a
S2	29.43 b	43.73 a	26.85 a	31.48 a	42.63 a	25.89 a	21.33 a	41.65 ab	37.02 a
S3	38.20 a	43.52 a	18.28 a	28.76 a	28.66 a	42.59 a	23.41 a	36.48 b	40.11 a
盐渍化梯度 Salinization gradient	第二茬 Second-cut			营养生长期 Vegetative growth stage			第三茬 Third-cut		
	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	根 Root	叶 Leave	茎 Stem	根 Root
	CK	22.41 b	48.08 ab	29.51a	11.90 a	26.60 ab	61.50 a	18.94 a	43.21 a
S1	33.37 a	42.75 b	23.88 ab	13.80 a	30.10 a	56.10 a	24.49 a	34.40 a	41.11 a
S2	32.04 a	48.14 ab	19.83 b	19.10 a	17.40 b	63.50 a	20.22 a	31.61 a	48.17 a
S3	31.74 a	51.25 a	17.01 b	22.10 a	17.00 b	60.90 a	20.31 a	30.68 a	49.01 a

自身生长的制约。从而导致苜蓿形态向根系相对较发达,叶片小而密集的方向发展。

2.3 不同盐渍化梯度下大麦和苜蓿地上部分分配比率及根冠比的特征

2.3.1 地上部分分配比率

盐渍化中盐胁迫降低了大麦和苜蓿地上部分的分配比率。如表6所示,在苜蓿返青后的营养生长期,与CK相比,在S1、S2和S3中苜蓿地上部分分配比率分别降低了5.57%、7.42%和11.59%;在第1茬、第2茬和第3茬,与CK相比,在S1、S2和S3中苜蓿地上部分分配比率分别降低了7.89%、10.44%和11.94%;3.79%、10.94%和15.31%;7.11%、10.31%和27.6%。对大麦的影响表现在:在拔节期,与CK相比,在S1、S2和S3中大麦地上部分分配比率分别降低了5.88%、7.22%和14.03%(表7)。这说明,作物在适应盐渍化中盐胁迫的策略之一为降低地上部的生物量,同时较多地提高根系即地下生物量所占的比重,以有利于缓解其在盐渍化环境中水分和养分的胁迫。方差分析表明,苜蓿第1茬和第2茬地上部分分配比率在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$),第3茬地上部分分配比率S3分别

与CK、S1和S2间差异显著($P<0.05$);而大麦拔节期地上部分分配比率在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$)。

2.3.2 根冠比

如表6和7,盐渍化中盐胁迫提高了苜蓿和大麦的根冠比。在苜蓿返青后的营养生长期,与CK比,S1、S2和S3中根冠比提高了26.9%、32.86%和54.0%。在第1茬,与CK比,S1、S2和S3中根冠比提高了60.41%、82.48%和98.94%。在第2茬,与CK比,S1、S2和S3中根冠比提高了20.24%、42.60%和62.74%。在第3茬,与CK比,S1、S2和S3中根冠比提高了20.05%、32.04%和107.36%。大麦拔节期,与CK比,S1、S2和S3中根冠比提高了47.81%、73.65%和108.05%。这说明在盐渍化中,随盐渍化梯度的增加,作物以逐渐提高根冠比来适应盐胁迫的影响。方差分析表明,在苜蓿返青后的营养生长期、第1茬和第2茬根冠比在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$),在第3茬根冠比在S3与CK、S1和S2间差异显著($P<0.05$);大麦在拔节期,根冠比在不同盐渍化梯度间差异不显著($P>0.05$)

表6 不同盐渍化梯度苜蓿地上部分分配比率及根冠比

Table 6 Dry matter partitioning ratio of total shoot and root/shoot ratio of alfalfa in different salinization gradient farmlands

生育阶段 Growth stage	地上部分分配比率				根冠比			
	Dry matter partitioning ratio of total shoot				Root/shoot ratio			
	CK	S1	S2	S3	CK	S1	S2	S3
营养生长期 Vegetative growth stage	76.20 a	71.96 a	70.55 a	67.37 a	31.59 a	40.08 a	41.97 a	48.64 a
第1茬 First-cut	85.84 a	79.07 a	76.88 a	75.59 a	16.56 a	26.57 a	30.23 a	32.95 a
第2茬 Second-cut	70.71 a	68.03 a	62.98 a	59.89 a	41.63 a	50.05 a	59.36 a	67.74 a
营养生长期 Vegetative growth stage	37.01 b	50.47 a	51.04 a	62.40 a	183.70 a	103.27 ab	96.62 ab	60.32 b
第3茬 Third-cut	63.39 a	58.89 a	56.86 a	45.89 b	58.29 b	69.98 b	76.97 b	120.88 a

表7 不同盐渍化梯度大麦地上部分分配比率及根冠比

Table 7 Dry matter partitioning ratio of total shoot and root/shoot ratio of barley in different salinization gradient farmlands

生育阶段 Growth stage	地上部分分配比率				根冠比			
	Dry matter partitioning ratio of total shoot				Root/shoot ratio			
	CK	S1	S2	S3	CK	S1	S2	S3
分蘖期 Tillering stage	46.09 a	41.80 a	37.61 a	51.80 a	129.70 a	149.49 a	168.48 a	93.10 a
拔节期 Jointing stage	85.49 a	80.47 a	79.32 a	73.50 a	17.36 a	25.66 a	30.15 a	36.12 a
灌浆成熟期 Grain filling and mature stage	84.95 b	87.41 ab	85.28 b	91.70 a	17.78 a	14.47 ab	17.56 ab	9.11 b

3 讨论

干物质分配比率在一定程度上能反映作物在受到盐分胁迫时的生存对策。对大麦来说,在生长发育过程中所合成的光合产物,根据植株生长的需要,分别分配给根、茎、叶和穗等器官;由于各时期的生长中心不同,光合产物的分配及各器官干物质的累积呈现不同规律。在非盐渍化农田,作物在各生育期干物质在各器官的积累和分配规律一般为拔节即幼穗分化以前(营养生长阶段),光合产物主要分配给叶、茎、根等营养器官,拔节后的生长中心转移到茎秆,茎的生长几乎直线增长,在灌浆开始后干物质停止增加,随后叶干重所占比例直线下降,茎鞘的生长在灌浆初期所占比例最大,抽穗后穗一直保持直线增长直到生育期结束。而对不同盐渍化梯度的农田,研究表明,随着盐渍化程度的增加,各生育期干物质的增长分配中心逐渐滞后于CK,同时干物质更多的分配在光合器官和营养器官叶和根上,并以茎干物重的减少为代价,以此获取更多的水分和养分等环境资源来维持自身的生长。如在分蘖期,在重度盐渍化农田,干物质更多的分配在根系上,干物质在各器官的分配比率大小顺序为根>叶>茎;在拔节期CK中干物质更多的分配在茎秆和叶上,干物质在各器官的分配比率大小顺序为茎>叶>根,而随盐渍化梯度的增加,干物质更多的分配在叶和根上,干物质在各器官的分配比率大小顺序为S1中为茎>根>叶,S2中为根>茎>叶,S3中为叶>根>茎。

对苜蓿而言,叶是营养器官和光合器官,而茎是输导和机械组织,根为吸收、转化和储存养分的主要器官。在非盐渍化农田,干物质在各器官的积累和分配规律一般为随着苜蓿高度的增加,叶量相对减少,茎量相对增加,茎叶比增加。而在不同盐渍化梯度的农田,研究表明,随着盐渍化梯度的增加,干物质向茎的分配比率逐渐减少,而向根和叶器官的分配比率逐渐增加,以此来适应盐胁迫对自身生长的制约。从而导致苜蓿形态向根系相对较发达,叶片小而密集的方向发展。

此外,大麦和苜蓿还通过降低地上部生物量,同时较多地提高根系即地下生物量所占比重的策略来缓解自身在盐渍化环境中水分和养分的胁迫,从而适应盐渍化中的盐胁迫。

4 结论

在盐渍化过程中,大麦和苜蓿通过将干物质更多的转移到根和叶器官上,同时减少干物质向茎秆的分配比率以及降低地上部的分配比率和提高根冠比的策略来适应盐胁迫。在形态建成上表现为苜蓿形态向根系相对较发达,根冠比较大,叶片小而密集的方向发展,大麦形态向植株低矮,结实率低的方向发展。

参考文献

- [1] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 92-97
- [2] Bidel L P R, Pagès L, Rivière L M, et al. Mass flow dyn I: A carbon transport and partitioning model for root system architecture[J]. *Annals of Botany*, 2000, 85(6): 869-886
- [3] 刘颖慧, 贾海坤, 高琼. 植物同化物分配及其模型研究综述[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1981-1992
- [4] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 32-34
- [5] Zhao F Y, Guo S L, Wang Z L, et al. Recent advances in study on transgenic plants for salt tolerance[J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(3): 171-178
- [6] 裘丽珍, 黄有军, 黄坚钦, 等. 不同耐盐性植物在盐胁迫下的生长与生理特性比较研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 32(4): 420-427
- [7] 丁顺华, 邱念伟, 杨洪兵, 等. 小麦耐盐性生理指标的选择[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(2): 98-102
- [8] 谷艳芳, 丁圣彦, 李婷婷, 等. 盐胁迫对冬小麦幼苗干物质分配和生理生态特性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 840-845
- [9] 王森, 代力民. 白山阔叶红松林主要树种对于干旱胁迫的生态反应及生物量分配的初步研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 496-500
- [10] 李树华, 许兴, 米海莉, 等. 干旱胁迫对牛心朴子植株生长及渗透调节物质积累的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 592-596
- [11] 孙启忠, 韩建国, 桂荣, 等. 科尔沁沙地放汉苜蓿地上生物量及营养物质累积[J]. 草地学报, 2001, 9(5): 165-170
- [12] 李晓明, 尕切江, 苍生海, 等. 柴达木盆地退化弃耕地紫花苜蓿地上生物量动态[J]. 中国草地, 2001, 23(3): 29-34
- [13] 李科, 朱进忠. 不同苜蓿品种引种筛选研究初报[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 248-252
- [14] 朱进忠. 对新疆草业发展的思考(一)[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3): 195-199
- [15] Soil Survey Division Staff. Soil survey manual [M]. Washington: In USDA handbook 18, US Gov. Printing Office, 1993: 437