

# 盐旱交叉胁迫对各施氮水平下小麦苗期的影响<sup>①</sup>

文 佩<sup>1,2</sup>, 陈小兵<sup>1\*</sup>, 张乐乐<sup>3</sup>, 李依霖<sup>3</sup>, 齐铭君<sup>4</sup>, 姜姝璇<sup>4</sup>, 张立宾<sup>5</sup>

(1 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东烟台 264003; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 烟台大学环境与材料工程学院, 山东烟台 264003; 4 中国农业大学(烟台)理工学院, 山东烟台 264003; 5 东营市科技情报研究所, 山东东营 257091)

**摘 要:**为探究不同浓度盐胁迫和水分胁迫及两者互作对小麦幼苗生理特性的影响,于2017年3月至5月布置盆栽试验,分别设置两个NaCl胁迫(S1, NaCl 1.9 g/kg; S2, NaCl 2.9 g/kg)和两个水分处理水平(W1, 78%田间持水量; W2, 47%田间持水量),测定了冬小麦幼苗地上部和地下部干物质质量、全氮、叶绿素和可溶性糖含量。结果表明:①在本试验盐胁迫范围内,单一盐胁迫下盐分含量的上升会显著抑制小麦的生长,冬小麦各部分干重、全氮、叶绿素含量明显下降,渗透物质可溶性糖含量会上升;②低盐干旱胁迫互作改善冬小麦幼苗生长状况,叶绿素含量、各部分干物质累积、氮积累量以及可溶性糖含量最大,呈现出对盐旱复合胁迫的适应性;③高盐干旱胁迫互作会加剧对小麦幼苗的生长限制。因此,低盐胁迫下对冬小麦进行适度的干旱刺激可以促进小麦幼苗适应复合胁迫,有利于小麦幼苗生长。

**关键词:**盐胁迫;干旱;盐旱复合胁迫;冬小麦幼苗

**中图分类号:**S512.1+1 **文献标识码:**A

土壤盐渍化和干旱胁迫是限制干旱和半干旱地区作物产量的关键因素<sup>[1]</sup>,随着气候变化的加剧,干旱和盐渍化问题会在未来十年更加严重<sup>[2-4]</sup>。山东省盐渍土面积达到约120万hm<sup>2</sup>,主要分布于黄河三角洲及渤海海湾和莱州湾等地,且这些地区水资源匮乏,降雨量少,常年干旱,从而形成了盐旱复合存在的生态环境,已成为当地生态系统和农业可持续发展中最重要的环境问题<sup>[5]</sup>。

小麦是我国盐渍化地区主要栽培作物之一。冬小麦苗期处于干旱少雨和土壤返盐的冬季,是对干旱和盐胁迫最敏感的时期<sup>[6-8]</sup>。苗期是小麦从自养过渡到异养的关键时期,此时小麦扎根浅是发生盐旱灾害的关键时期<sup>[9]</sup>。氮素是植物体内重要的结构物质和最活跃物质(酶)的组成成分,施氮量对于小麦影响重大,在盐渍化土壤上氮肥对于改善小麦幼苗生长尤为重要<sup>[10]</sup>。氮肥施入可缓解盐分的抑制作用,降低苗期对氯离子积累及生长后期对钠离子的积累。曾文治等<sup>[11]</sup>研究发现增施氮肥可以提高盐胁迫下葵花出苗率、株高、叶面积和干物质质量。干旱和盐胁迫都会降

低土壤水势,造成小麦体内水分亏缺和渗透胁迫<sup>[12]</sup>。干旱降低蒸腾速率、限制主动运输以及损害细胞膜渗透性而造成根部养分吸收及向地上部运输困难,这就造成根部吸收能力降低<sup>[13]</sup>。短期内,两种胁迫都会导致小麦脱水,而两种胁迫效应也存在差异,长期盐胁迫除了水分亏缺还会造成离子毒害和离子失衡<sup>[14]</sup>。目前学者侧重研究小麦在单一胁迫中的生理反应,而盐分和干旱往往同时存在,盐旱复合胁迫会加重胁迫程度还是激发冬小麦幼苗适应性仍然需要继续探索。本文拟通过研究各氮水平下盐旱互作胁迫对冬小麦幼苗干物质积累、叶绿素和可溶性糖等生理指标的影响,为揭示冬小麦幼苗盐旱胁迫下生理反应及耐盐耐旱机制提供理论依据,为探究适合盐渍化地区冬小麦苗期的栽培灌水方案提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**供试土壤:**于2016年11月采自黄河三角洲渤海农场(37°41'17.25" N, 118°36'03.76" E),采样地块为小

基金项目:山东省重点研发计划项目(2017CXGC0316, 2016CYJS05A01-1)、NSFC-山东联合基金重点支持项目(U1806215)和东营市重点研发计划项目(2016YF17)资助。

\* 通讯作者(xbchen@yic.ac.cn)

作者简介:文佩(1992—),女,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事土壤盐渍化与改良技术研究。E-mail: 879061528@163.com

麦-玉米轮作田块,土壤质地为砂质壤土。在野外田块选取土质较为均一地块,依据小麦出苗状况采集同一地块两块田块耕层 0~20 cm 土壤,以 F1、F2 表示。土壤分区收集,各自混合均匀后自然风干,过 2 mm 筛,测定相关理化性质,土壤基本理化性质见表 1,除全盐含量差异较大外,各区土壤的其他性质基

本一致。

供试花盆:盆底直径 28 cm、高 25 cm,适宜小麦根系生长,盆底封闭,防止灌水后盐溶液外浸。

供试氮肥:尿素,含氮质量分数 46%。

供试种子:“济麦 22”,种子百粒重为 4.70 g ± 0.12 g。

表 1 土壤基本理化性质  
Table 1 Physiochemical properties of tested soil

土样	pH(土/水=1:5)	容重(g/cm <sup>3</sup> )	田间持水率(%)	全氮(g/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/g)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/g)	全盐(g/kg)
F1	8.56	1.24	25.5	0.76	3.52	0.17	1.90
F2	8.62	1.26	25.7	0.78	3.47	0.20	2.90

## 1.2 试验设计

试验采用 2×2×2 三因素随机设计,共计布设 8 个处理,每处理设 15 个重复。设置两个氮水平: N1(0.15 g/kg)、N2(0.20 g/kg);两个水分水平:土壤含水量为田间持水率的 78% 和 47%,分别用 W1、W2 表示;两个盐分水平,土壤盐分(NaCl)含量为 1.9 g/kg 和 2.9 g/kg,分别用 S1、S2 表示,以上盐分水平低于小麦幼苗耐盐阈值,可进行冬小麦苗期盆栽试验。以上盐分水平低于小麦幼苗耐盐阈值,可进行冬小麦苗期盆栽试验。试验于 2017 年 3 月在中国农业大学烟台校区温室进行。此时,烟台地区气温与山东棕壤

种植区冬小麦播种时段温度等外环境条件基本一致。

试验时,在花盆底部平铺 200 g 兰花石,用天平(精度为 0.1 g)称取 2 500 g 风干土,分别取 500 ml 去离子水和 1.63 g 尿素、300 ml 去离子水和 0.82 g 尿素与土壤充分混合后装入塑料花盆中。用 20% NaClO 溶液对冬小麦种子浸泡消毒 15 min,再以去离子水冲洗干净,黑暗湿润条件下 25℃±1℃浸种催芽 24 h。种子破胸露白后于 2017 年 3 月 3 日播于盆中,播种量为 25 粒/盆,待两叶一心期定苗 15 株/盆。每间隔 1 d,采用称重法,补水,保持土壤含水量在田间持水量的 78% 和 47%。冬小麦幼苗指标测定见表 2。

表 2 冬小麦苗期指标测定  
Table 2 Index determination of winter wheat in seedling stage

指标	测定方法	测定仪器	操作方法
叶绿素	乙醇比色法	T6 紫外可见分光光度计	取冬小麦新鲜功能叶用无水乙醇提取,用分光光度计在 665 nm 和 649 nm 波长下测定吸光度并计算出叶绿素含量 <sup>[15]</sup>
可溶性糖	蒽酮比色法	T6 紫外可见分光光度计	取冬小麦新鲜功能叶用去离子水煮沸浸提后,加入浓硫酸蒽酮显色,用分光光度计在 620 nm 波长下测定吸光度并计算出可溶性糖含量 <sup>[16]</sup>
冬小麦干重	烘干法	DHZ-9140 电热恒温鼓风干燥箱,FA1004 电子天平	冬小麦鲜样于 85℃烘箱中烘 15~30 min,再降温到 70℃继续烘干至恒重,用万分之一天平称重 <sup>[17]</sup>
冬小麦全氮	凯氏定氮法	SH220 石墨消解仪,KDY-9840 凯氏定氮仪	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 消煮,通过凯氏蒸馏法测定 <sup>[17]</sup>

## 1.3 数据处理

利用 Excel 2013 进行数据处理,采用 SPSS 19 进行两因素方差分析和多重比较。

## 2 结果分析

### 2.1 冬小麦幼苗地上部和地下部干物质量的变化

表 3 反映的是冬小麦地上部和地下部干物质量随着盐分和水分以及两者复合作用的变化规律,各氮水平以 S1W2 处理各部分干物质量最大。具体为:在

三叶期,无水分胁迫(W1)时,S2 处理比 S1 处理地上部干物质量下降了 14.30%,地下部干物质量下降了 17.39%;增加水分胁迫后(W2),S2 处理比 S1 处理地上部干物质量下降了 53.81%,地下部干物质量下降了 45.55%。本试验还发现在各氮水平下,S1W2 处理表现协同效应,相对于 S1W1 处理地上部干物质量增加了 28.88%,地下部干物质量增加了 7.39%,分蘖前期及后期呈现同样变化趋势。这可能与盐旱复合胁迫下光合能力增强有关<sup>[18]</sup>。

表 3 盐分和水分对不同施氮量冬小麦苗期地上部和地下部干物质质量的影响(g/盆)  
Table 3 Shoot and root dry weight winter wheat in seedling stages as affected by salinity and water

氮水平	盐分	水分	三叶期		分蘖前期		分蘖后期	
			地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
N1	S1	W1	1.230 c	0.945 bc	2.570 c	1.865 b	4.945 c	1.945 bc
		W2	2.125 b	1.100 b	3.180 b	2.060 a	5.025 c	2.245 b
	S2	W1	1.200 c	0.865 cd	2.275 d	1.505 c	3.435 e	1.550 c
		W2	1.045 c	0.660 e	1.360 e	1.160 d	2.885 e	1.540 c
N2	S1	W1	2.440 a	1.355 a	3.925 a	1.875 b	6.470 b	2.185 b
		W2	2.605 a	1.370 a	3.970 a	2.170 a	7.290 a	2.845 a
	S2	W1	1.945 b	1.035 bc	2.590 c	1.720 b	4.630 cd	1.885 bc
		W2	1.140 c	0.685 de	2.010 d	1.520 c	4.180 d	1.600 c

注：表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )；下同。

## 2.2 冬小麦幼苗叶绿素和可溶性糖含量的变化

表 4 反映了冬小麦叶绿素和可溶性糖含量随着盐分和水分以及两者复合作用的变化规律,各氮水平以 S1W2 处理叶绿素含量最高。具体表现为:在三叶期,无水分胁迫(W1)存在时,S2 处理比 S1 处理叶绿素含量下降了 9.8%;增加水分胁迫后(W2),S2 处理比 S1 处理叶绿素含量下降了 25.82%。此外,本试验还发现在任何氮水平下,S1W2 处理均表现协同效应,相对于 S1W1 处理反而使叶绿素含量增加了 28.88%,分蘖前期以及分蘖后期呈现出相同的变化趋

势。这可能是与低盐干旱(S1W1)处理冬小麦适应性增强有关<sup>[19]</sup>。

各氮水平以 S1W2 处理可溶性糖含量最高。具体表现为:在三叶期,无水分胁迫处理(W1)时,S2 处理比 S1 处理可溶性糖含量增加了 91.70%;增加水分胁迫后(W2),S2 处理比 S1 处理叶绿素含量下降了 25.82%。此外,本试验还发现在各氮水平下,S1W2 处理均表现协同效应,相对于 S1W1 处理反而使叶绿素含量增加了 208.49%,分蘖前期以及分蘖后期呈现出相同的变化趋势。这可能与冬小麦渗透胁迫适应性有关<sup>[20]</sup>。

表 4 盐分和水分对不同施氮量冬小麦苗期可溶性糖和叶绿素含量的影响  
Table 4 Soluble sugar and chlorophyll contents in winter wheat in seedling stages as affected by salinity and water

氮水平	盐分	水分	三叶期		分蘖前期		分蘖后期	
			叶绿素(mg/g)	可溶性糖(mg/g)	叶绿素(mg/g)	可溶性糖(mg/g)	叶绿素(mg/g)	可溶性糖(mg/g)
N1	S1	W1	0.104 1 bc	26.374 c	0.159 5 bc	52.215 f	0.243 3 bc	30.344 c
		W2	0.112 5 abc	73.227 b	0.184 5 ab	87.879 b	0.304 5 ab	47.729 b
	S2	W1	0.094 1 c	28.648 c	0.154 8 bc	68.150 d	0.234 4 c	42.684 b
		W2	0.069 6 d	26.410 c	0.141 3 c	55.270 ef	0.221 9 c	33.348 c
N2	S1	W1	0.115 5 ab	27.837 c	0.211 3 a	64.711 de	0.264 5 bc	35.561 c
		W2	0.126 9 a	94.004 a	0.214 7 a	122.394 a	0.344 4 a	63.287 a
	S2	W1	0.103 9 bc	75.273 b	0.174 2 bc	80.990 bc	0.261 3 bc	56.990 a
		W2	0.101 4 bc	28.473 c	0.147 6 bc	70.398 cd	0.231 2 c	48.381 b

## 2.3 冬小麦幼苗地上部和地下部全氮含量的变化

表 5 反映的是冬小麦地上部和地下部全氮含量随着盐分和水分以及两者复合作用的变化规律,各氮水平以 S1W2 处理各部分全氮含量最高。具体表现为:在三叶期,无水分胁迫(W1)存在时,S2 处理比 S1 处理地上部全氮含量下降了 7.34%,地下部全氮含量下降了 27.55%;增加水分胁迫后(W2),S2 处理

比 S1 处理地上部全氮含量下降了 25.79%,地下部全氮含量下降了 60.36%。此外,本试验还发现在各氮水平下,S1W2 处理均表现协同效应,相对于 S1W1 处理反而使地上部全氮含量增加了 8.02%,地下部全氮含量增加了 27.74%,分蘖前期以及分蘖后期呈现出相同的变化趋势。这可能是与低盐干旱胁迫增强根部吸收养能力有关<sup>[21]</sup>。

表 5 盐分和水分对不同施氮量冬小麦苗期地上部和地下部全氮含量影响(mg/g)  
Table 5 Total N contents in shoots and roots of winter wheat in seedling stages as affected by salinity and water

氮水平	盐分	水分	三叶期		分蘖前期		分蘖后期	
			地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
N1	S1	W1	0.011 7 bc	0.013 4 d	0.019 7 cd	0.020 5 cde	0.019 7 cd	0.029 8 d
		W2	0.012 9 abc	0.024 6 b	0.030 7 abc	0.024 6 ab	0.025 8 abc	0.036 9 b
	S2	W1	0.010 4 c	0.010 0 ef	0.019 5 cd	0.017 4 ef	0.017 2 cd	0.026 0 e
		W2	0.010 2 c	0.009 0 f	0.015 6 d	0.016 5 f	0.017 0 d	0.025 6 e
N2	S1	W1	0.014 2 ab	0.028 1 a	0.032 1 ab	0.022 4 bc	0.026 1 ab	0.039 2 a
		W2	0.015 1 a	0.028 4 a	0.039 9 a	0.025 7 a	0.028 5 a	0.040 1 a
	S2	W1	0.013 6 ab	0.020 0 c	0.028 8 abc	0.020 6 cd	0.022 8 abc	0.033 4 c
		W2	0.010 6 b	0.012 0 de	0.025 5 bcd	0.018 2 def	0.022 5 bcd	0.030 1 d

### 3 讨论

可溶性糖是植物在逆境下的适应产物。细胞中可溶性糖溶解度大,植物处于干旱和盐胁迫下,可溶性糖含量增加能够增加细胞质浓度,降低水势,提高吸水能力,有效缓解干旱和盐分产生的渗透胁迫<sup>[22]</sup>。本研究发现,单一盐分胁迫下,冬小麦幼苗的可溶性糖含量随土壤含盐量增加而显著增加。与 Sabry 等<sup>[23]</sup>研究结果相似,以 NaCl 溶液浇灌小麦幼苗,幼苗可溶性糖等渗透物质都会显著积累。可溶性糖是盐胁迫下的重要渗透调节物质<sup>[24]</sup>,其原因可能是盐胁迫造成植物渗透胁迫、膨压下降,植物以可溶性糖含量增加来适应胁迫环境<sup>[25]</sup>,这是植物面对盐分伤害的保护机制。本研究发现在加入水分胁迫以后,低盐干旱胁迫(S1W2)处理下冬小麦幼苗可溶性糖含量最高,高盐高水胁迫下可溶性糖含量最低,低盐胁迫下加入适当的水分胁迫可以增加冬小麦渗透胁迫物质可溶性糖含量,这与华智锐和李小玲<sup>[26]</sup>的研究结果相似,这可能是因为可溶性糖含量与植物抗逆性强弱有关。冬小麦对水分胁迫与低盐处理产生交叉适应性,可溶性糖对盐旱胁迫敏感,是植物是否具有抗逆性的指标,在低盐干旱(S1W1)处理下,可溶性糖含量最大,降低细胞渗透式,维持膨压,保证植物正常生理代谢<sup>[27]</sup>。本研究显示高盐条件下,加入水分胁迫会加大对冬小麦幼苗的伤害,显著降低可溶性糖含量。高盐处理加入水分胁迫会抑制可溶性糖合成,降低冬小麦抗逆性<sup>[28]</sup>。

氮素是影响植物生长发育和产量形成的重要因素<sup>[29]</sup>。小麦幼苗氮素主要存在于叶片中<sup>[30]</sup>。土壤的供氮能力会直接影响小麦氮素利用率<sup>[31-33]</sup>。氮素作为植物体内蛋白质、氨基酸、核苷酸和叶绿素的重要组成部分,其吸收利用效率呈现出冬小麦在逆境的适应

性及对胁迫的耐受性<sup>[34]</sup>。本研究结果显示,各氮处理,小麦幼苗含氮量随单一盐胁迫升高显著降低;盐旱复合胁迫下,干旱高盐互作会极显著降低冬小麦幼苗各部分全氮含量,低盐干旱互作增加了各部分全氮含量,这与马洪波等<sup>[35]</sup>研究结果相似。究其原因是 Na<sup>+</sup> 竞争拮抗作用,导致氮素吸收受阻<sup>[36]</sup>。低盐干旱下冬小麦可溶性糖含量最高,对于逆境胁迫的适应性最强,根部吸收氮素营养能力强,使冬小麦各部分全氮含量达到最大<sup>[37]</sup>。

光合作用是植物生长的基础,叶绿体是光合作用载体,叶绿素含量会直接影响到植物光合同化作用以及干物质累积和能量供应<sup>[38]</sup>。在逆境胁迫下,光合作用被抑制,主要表现为叶绿素含量的变化。本研究结果显示,各氮水平下,无水分胁迫时(W1),冬小麦叶绿素含量随盐分含量升高而降低,低盐干旱条件增加了冬小麦叶绿素含量,高盐干旱胁迫极显著地降低叶绿素含量。与许兴等<sup>[39]</sup>试验结果相似,大部分小麦品种幼苗叶绿素含量对高盐敏感,随着 NaCl 浓度升高叶绿素含量显著降低。中度盐胁迫和干旱胁迫使小麦体内叶绿素含量达到最高,显著地增加了 41%,重度盐胁迫和干旱胁迫叶绿素含量显著降低了 26%<sup>[40]</sup>。本研究结果与之相似,原因是冬小麦叶绿素含量对于低盐干旱胁迫表现出一定的适应性,通过提高叶绿素含量增强冬小麦光合作用来适应逆境胁迫,适当水分胁迫对于低盐胁迫具有缓解作用;高盐胁迫主导处理下,冬小麦细胞产生大量活性氧破坏叶绿素合成,随着盐旱复合胁迫加剧,叶绿素合成被抑制,从而降低冬小麦抗逆性<sup>[41]</sup>。

植物生物量是指示植物对逆境环境条件响应的重要指标。本研究显示,各氮水平下,无水分胁迫(W1)时,盐分水平上升降低冬小麦各部分干物质累积量,加入干旱胁迫(W2)后,低盐干旱(S1W2)处理下的各

部分干物质质量都会有所增加,高盐干旱(S2W2)处理显著地降低了冬小麦各部分干物质累积。土壤盐渍化也导致叶、茎和根的鲜重和干重显著降低<sup>[42-44]</sup>。Shaheen 等<sup>[43]</sup>研究表明,低盐干旱条件下,对于所有小麦品种来说干物质质量明显上升,高盐干旱处理下,小麦的干物质质量会逐渐下降。同样陈成升等<sup>[46]</sup>研究结果也显示,在无干旱胁迫条件下 50 mmol/L NaCl 处理的小麦干物质质量比 25 mmol/L NaCl 处理的小麦干物质质量明显下降,加入 12.6%水分胁迫处理后,25 mmol/L NaCl 处理使小麦干物质质量增加。究其原因低盐干旱胁迫使冬小麦光合能力增强,抗逆性增加,对低盐干旱复合胁迫表现适应性<sup>[47-48]</sup>。

#### 4 结论

在各氮水平下,土壤盐分含量升高,冬小麦幼苗干物质质量降低,渗透调节物质增加;以低盐干旱互作处理表现最优,产生大量可溶性糖并表现高吸氮能力,增强了冬小麦对盐旱复合胁迫的适应性,叶绿素含量增加,同化产物增加,利于冬小麦幼苗生长。高盐干旱破坏冬小麦正常生理代谢,离子胁迫,渗透危害程度重,严重抑制冬小麦幼苗的生长。因此,低盐干旱交叉胁迫可促进轻度盐渍化地区冬小麦幼苗生长。

#### 参考文献:

- [1] Zhu J K. Plant salt tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(2): 66-71
- [2] Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources [J]. Science, 2006, 313(5790): 1068-1072
- [3] 吕真真, 杨劲松, 刘广明, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化与地下水特征关系研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1377-1385
- [4] Rozema J, Flowers T. Ecology. Crops for a salinized world [J]. Science, 2008, 322(5907): 1478-1480
- [5] 于阳. 泥质滨海盐渍土快速脱盐改良剂的筛选研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015
- [6] Munns R, Termaat A. Whole-plant responses to salinity[J]. Functional Plant Biology, 1986, 13(1): 143-160
- [7] Maas E V, Poss J A. Salt sensitivity of wheat at various growth stages[J]. Irrigation Science, 1989, 10(1): 29-40
- [8] Hu Y, Camp K, Schmidhalter U. Kinetics and spatial distribution of leaf elongation of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline soil conditions[J]. International Journal of Plant Sciences, 2000, 161(4): 575-582
- [9] 靖姣姣, 路斌, 杜欢, 等. 盐胁迫对小麦代换系光合性状的影响及染色体效应研究[J]. 麦类作物学报, 2016(9): 1147-1152
- [10] 谢文军, 张衍鹏, 张森, 等. 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 461-466
- [11] 曾文治, 徐驰, 黄介生, 等. 土壤盐分与施氮量交互作用对葵花生长的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 86-94
- [12] Hu Y C, Burucs Z, Schmidhalter U. Short-term effect of drought and salinity on growth and mineral elements in wheat seedlings [J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(12): 2227-2243
- [13] Kramer P J, Boyer J S. Water relations of plants and soils[M]. Academic Press, 1995
- [14] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annu. Rev. Plant Biol., 2008, 59: 651-681
- [15] 薛香, 吴玉娥. 小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(11): 2701-2702
- [16] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 71-74
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 41-44
- [18] 吕廷良, 孙明高, 宋尚文, 等. 盐、旱及其交叉胁迫对紫荆幼苗净光合速率及其叶绿素含量的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2010(2): 191-195
- [19] 任红旭, 陈雄, 王亚馥. 抗旱性不同的小麦幼苗在水分和盐胁迫下抗氧化酶和多胺的变化[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 709-715
- [20] 郑桂珍, 关军锋, 李广敏. 渗透胁迫对小麦根、胚芽生长及其质膜氧化还原系统的影响[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 48-50
- [21] 翁亚伟, 张磊, 张姍, 等. 盐旱复合胁迫对小麦幼苗生长和水分吸收的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2244-2252
- [22] 包卓. 低温高光锻炼下烤烟幼苗叶片光合适应性的初步研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010
- [23] Sabry S R S, Smith L T, Smith G M, et al. Osmoregulation in spring wheat under drought and salinity stress[J]. Journal Genetic & Breeding, 1995, 49: 55-60
- [24] 王子臣, 张兵, 管永祥, 等. 油莎豆盐土栽培生理初探[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1126-1131
- [25] Plaut Z, Federman E. Acclimation of CO<sub>2</sub> assimilation in cotton leaves to water stress and salinity[J]. Plant Physiology, 1991, 97(2): 515-522
- [26] 华智锐, 李小玲. 盐旱交叉胁迫对小麦幼苗渗透调节能力的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(2): 166-171
- [27] 贺少轩, 梁宗锁, 蔚丽珍, 等. 土壤干旱对 2 个种源野生酸枣幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009(7): 1387-1393
- [28] 刘建新, 王金成, 王瑞娟, 等. 旱盐交叉胁迫对燕麦幼苗生长和渗透调节物质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 244-248
- [29] 陈红琳, 陈尚洪, 郑盛华, 等. 增施氮素对苗期渍水胁迫冬油菜生理特性及产量的调控效应[J]. 土壤, 2017, 49(3): 519-526
- [30] 姜丽娜, 李春喜. 超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(2): 53-59
- [31] 张洪程, 许轲. 超高产小麦吸氮特性与氮肥运筹的初步研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 935-940

- [32] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 华北地区冬小麦-夏玉米轮作体系的氮素循环与平衡[J]. 土壤学报, 2009, 46(4): 684-697
- [33] 梁振兴, 刘兴海. 小麦产量形成的栽培技术原理[M]. 北京农业大学出版社, 1994
- [34] 陈辉蓉, 吴振斌, 贺锋, 等. 植物抗逆性研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(3): 7-13
- [35] 马洪波, 曹月阳, 陈杰, 等. 土壤盐胁迫对小麦养分和渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 28(6): 1300-1305
- [36] Perveen S, Shahbaz M, Ashraf M. Changes in mineral composition, uptake and use efficiency of salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants raised from seed treated with triacontanol [J]. Pak. J. Bot., 2012, 44: 27-35
- [37] 弋良朋, 王祖伟. 盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1195-1202
- [38] 何洁, 刘鸿先, 王以柔, 等. 低温与植物的光合作用[J]. 植物生理学通讯, 1986(2): 1-6
- [39] 许兴, 李树华, 惠红霞, 等. NaCl 胁迫对小麦幼苗生长, 叶绿素含量及  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  吸收的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 278-284
- [40] 华智锐, 于浩世, 王新军. 盐旱交叉胁迫对商麦 5226 幼苗光合指标的影响[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2017 (2): 52-57.
- [41] 朱金方, 夏江宝, 陆兆华, 等. 盐旱交叉胁迫对柽柳幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(1): 124-130
- [42] Chartzoulakis K, Klapaki G. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages[J]. Scientia Horticulturae, 2000, 86(3): 247-260
- [43] Hernandez J A, Olmos E, Corpas F J, et al. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants[J]. Plant Science, 1995, 105(2): 151-167
- [44] Marcelis L F M, Van Hooijdonk J. Effect of salinity on growth, water use and nutrient use in radish (*Raphanus sativus* L.) [J]. Plant and Soil, 1999, 215(1): 57-64
- [45] Shaheen R, Hood-Nowotny R C. Effect of drought and salinity on carbon isotope discrimination in wheat cultivars[J]. Plant Science, 2005, 168(4): 901-909
- [46] 陈成升, 谢志霞, 刘小京. 旱盐互作对冬小麦幼苗生长及其抗逆生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 811-816
- [47] Slama I, Ghnaya T, Messedi D, et al. Effect of sodium chloride on the response of the halophyte species *Sesuvium portulacastrum* grown in mannitol-induced water stress[J]. Journal of Plant Research, 2007, 120(2): 291-299
- [48] Hussain M I, Lyra D A, Farooq M, et al. Salt and drought stresses in safflower: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2016, 36(1): 1-31

## Effects of Salt and Drought on Winter Wheat in Seedling Stage Under Different Nitrogen Rates

WEN Pei<sup>1,2</sup>, CHEN Xiaobing<sup>1\*</sup>, ZHANG Lele<sup>3</sup>, LI Yilin<sup>3</sup>, QI Mingjun<sup>4</sup>, JIANG Shuxuan<sup>4</sup>, ZHANG Libin<sup>5</sup>  
 (1 Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 School of Environment and Material Engineering, Yantai University, Yantai, Shandong 264003, China; 4 School of Polytechnic, China Agricultural University (Yantai), Yantai, Shandong 264003, China; 5 Dongying Institute of Scientific and Technical Information, Dongying, Shandong 257091, China)

**Abstract:** To investigate the physiological and biochemical characteristics of wheat seedlings under salinity and drought, an indoor pot experiment was conducted from March to May in 2017. Two NaCl concentrations of S1 and S2, two water contents of W1 and W2 were designed. The dry weights and the contents of total nitrogen, chlorophyll and soluble sugar of shoots and roots were measured for potted winter wheat. The results showed that: 1) The increase of salinity significantly limited the growth of wheat. The dry weights of shoots and roots, total nitrogen and chlorophyll contents of winter wheat decreased significantly but the soluble sugar content increased. 2) Interaction of low salt with drought alleviated the restriction on the growth of wheat seedlings, the dry weights of shoots and roots and the contents of nitrogen, chlorophyll and soluble sugar of winter wheat were highest. 3) Interaction of high salinity with drought aggravated the restriction on the growth of wheat seedlings. The above results suggest that low salinity with moderate drought stress could stimulate stress effects of wheat, which is beneficial for the growth of wheat seedling.

**Key words:** Salt stress; Drought; Salt drought stress; Wheat seedling