

干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗 形态和生理特性的影响

刘春娟, 宋双伟, 冯乃杰, 郑殿峰, 官香伟,
孙秋霞, 邢豹, 高杰, 吕金莹
(黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江大庆 163319)

摘要: 以干旱敏感品种 SN14 和耐旱品种 HN64 为试材, 采用盆栽试验方法, 于大豆三叶期喷施植物生长调节剂烯效唑(S3307), 研究干旱胁迫及复水条件下调节剂对大豆幼苗形态和生理指标的影响。结果表明: 干旱胁迫及复水条件下, S3307 处理的两品种株高均小于 CK, 显著增加了两品种的茎粗、根长和根干重, 增强了植株抗旱能力。在轻度(60%~70%)、中度(50%~60%)和重度(35%~50%)干旱胁迫条件下, SN14-S3307 和 HN64-S3307 处理的叶片相对电导率分别比 SN14-CK 和 HN64-CK 减少 51.10%、31.13%、46.03% 和 49.00%、12.00%、42.00%; SN14-S3307 和 HN64-S3307 处理的叶片相对含水量分别比 SN14-CK 和 HN64-CK 增加 8.96%、4.74%、7.87% 和 15.23%、14.01%、7.00%; SN14-S3307 和 HN64-S3307 处理叶绿素含量分别比 SN14-CK 和 HN64-CK 增加 5.22%、4.66%、2.24% 和 8.00%、7.59%、3.61%。综上所述, 三叶期喷施烯效唑能够提高大豆苗期的抗旱能力, 起到壮苗的作用。

关键词: 大豆幼苗; 干旱胁迫; 复水; 烯效唑; 形态和生理特性

中图分类号: S565.1; Q945.78 **文献标志码:** A

Effects of plant growth regulator S3307 on morphological and physiological characteristics of soybean seedling under drought stress and rewater treatment

LIU Chun-juan, SONG Shuang-wei, FENG Nai-jie, ZHENG Dian-feng,
GONG Xiang-wei, SUN Qiu-xia, XING Bao, Gao Jie, LV Jin-ying

(Agronomy of College/Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: In this research, soybean was employed as the experimental material by greenhouse to studied the effects of 50 mg·L⁻¹ S3307 treatment under drought stress and rewater condition on the morphology and physiology of soybean seedling. The results showed that plant heights with S3307 treatment were shorter than those in CK by reducing water consumption. Stem diameter, root length and root weight were increased by the S3307 treatment to have improved drought tolerance capability. Under mild drought (60%~70%), moderate drought (50%~60%) and severe drought (35%~50%), leaf conductance were decreased 51.10%, 31.13%, 46.03% and 49.00%, 12.00%, 42.00% of by SN14-S3307 and HN64-S3307 than SN14-CK and HN64-CK; relative water content were increased 8.96%, 4.74%, 7.87% and 15.23%, 14.01%, 7.00% by SN14-S3307 and HN64-S3307 than SN14-CK and HN64-CK; and chlorophyll content were increased 5.22%, 4.66%, 2.24% and 8.00%, 7.59%, 3.61% by SN14-S3307 and HN64-S3307 than SN14-CK and HN64-CK. In summary, PGRs spraying is important for soybean seedling and drought resistance at the three-leaf stage.

Keywords: soybean seedling; drought stress; rewater; S3307; morphological and physiological characteristics

收稿日期: 2015-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571613, 31271652); 黑龙江省杰出青年基金项目(JC201309); 黑龙江农垦总局科技攻关项目(HNK12A-06-03, HNK12A-09-02); 黑龙江八一农垦大学大学生创新创业训练计划项目(xc2014001)

作者简介: 刘春娟(1990—), 女, 黑龙江大庆人, 硕士研究生, 研究方向为作物化学调控。E-mail: 15164593623@139.com。

通信作者: 冯乃杰(1970—), 教授, 主要从事作物化学调控研究工作。E-mail: dqfj@126.com。

大豆是我国重要的油料和经济作物,我国大豆平均产量大幅度低于世界平均水平,提高国内大豆产量是弥补大豆需求缺口的主要措施。气候变化是影响大豆产量与品质的根本问题。我国每年因为干旱对大豆产量和品质造成的损失不可估量。作物能通过感受刺激和传导信号,进而启动各种形态和生理生化反应响应干旱胁迫^[1]。干旱胁迫下植株形态上的变化是最直接的表现^[2-5],植物叶片相对含水量是反映植物抗旱能力的重要指标,能直接反映出植物体内水分亏缺的程度^[6];干旱条件下引起植株叶片衰老的直接症状是叶片变黄,叶片变黄的原因是叶绿素含量的减少^[7]。高蕾等^[8]研究表明,大豆幼苗随着干旱胁迫的加强,叶片中叶绿素含量降低。因此,寻找提高大豆抗旱性的途径,提高大豆的水分利用效率,对于大豆稳产高产具有重要的理论和现实意义。目前关于作物抗旱性方面的研究,已从关键栽培措施调控转到生化调控,应用化控技术提高作物的抗旱性已逐渐被人们认知和应用^[9]。烯效唑(S3307)是近年来农业生产上取代多效唑的生长延缓剂,其生理活性高,作用效果显著,在土壤中不易残留,具有广阔的应用前景。有研究表明,烯效唑可提高叶片相对含水量,提高大豆的抗旱性^[10];大量研究表明,烯效唑通过降低干旱胁迫下植株的株高,增加植株的根长和茎粗,提高植株的叶片相对含水量和叶绿素含量,从而增强植株的抗旱能力^[11-13]。烯效唑处理的植株细胞膜会产生一定的抗性,减缓逆境造成的伤害,增强了作物的抗逆性^[14-15]。本研究探讨了干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗形态和生理特性的影响,为调节剂在生产上的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料处理

供试大豆品种为干旱敏感品种绥农 14 和耐旱品种黑农 64,种子均由黑龙江八一农垦大学化控实验室提供。

以盆栽的方式于 2015 年 6 月 5 日在黑龙江八一农垦大学盆栽场大棚内进行。将各大豆种子播种在口径为 30 cm、高 30 cm 塑料花盆中,每盆装入施好基肥的土壤 12 kg,用土覆盖 4 cm,然后用水浇透,待苗齐后间苗、定苗。每盆选留长势均匀的苗 6 株,每个处理重复 9 盆,3 次重复。在大豆第三节期(V3 期)进行叶面喷施调节剂,以喷施清水为对照(CK),以喷施调节剂为处理,供试调节剂为烯效唑(简称 S3307),喷施剂量为 50 mg·L⁻¹,每 667 m² 喷液量为

15 L。

绥农 14 和黑农 64 的 CK 处理表示为 SN14 - CK 和 HN64 - CK, S3307 处理表示为 SN14 - S3307 和 HN64 - S3307。喷施调节剂后进行干旱胁迫处理,(取样时同步测定土壤相对含水量^[16])。喷施调节剂后 4 d 为轻度干旱,土壤相对含水量保持在 60% ~ 70%(田间持水量的百分数,下同);喷施调节剂后 6 d 为中度干旱,土壤相对含水量保持在 50% ~ 60%;喷施调节剂后 8 d 为重度干旱,土壤相对含水量保持在 35% ~ 50%。

1.2 测定指标与测试方法

干旱后第 2、4、6、8 天及复水后第 2、4、6 天取样,于上午 9:00 ~ 11:00 进行。标记固定植株,用便携式叶绿素仪测定叶片倒 2 叶叶绿素值,选取长势均匀一致的幼苗 5 株,用于测量株高、茎粗、根长、茎干重和根干重,叶片倒 3 叶用于相对含水量^[17]和相对电导率的测定^[18]。

1.3 统计分析

数据处理及作图采用 Excel 2003 进行,用统计分析软件 SPSS 19 对数据进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗形态特性的影响

株高、茎粗和根长是表示作物在逆境下能否正常生长的重要指标。如表 1 所示,在整个取样期内,SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的株高显著低于 SN14 - CK 和 HN64 - CK 处理;SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的茎粗和根长显著大于 SN14 - CK 和 HN64 - CK。干旱胁迫 2、4、6 d 和 8 d,SN14 - S3307 分别比 SN14 - CK 茎粗增加 6.95%、7.96%、17.64% 和 17.51%;HN64 - S3307 分别比 HN64 - CK 茎粗增加 3.44%、4.38%、5.95% 和 14.72%。可以看出,调节剂处理对干旱敏感品种绥农 14 茎粗增加的比例大,作用效果更好。调节剂处理显著增加了干旱下的植株根长,干旱胁迫 2、4、6 d 和 8 d,SN14 - S3307 分别比 SN14 - CK 根长增加 1.45%、12.26%、2.56% 和 0.44%;HN64 - S3307 分别比 HN64 - CK 根长增加 3.35%、5.98%、4.35% 和 0.28%,在轻度干旱下调节剂对绥农 14 作用效果好;在中度干旱下,调节剂对黑农 64 作用效果较好;在重度干旱下,调节剂对绥农 14 作用效果好。干旱胁迫 2 ~ 6 d,SN14 - CK 和 HN64 - CK 处理的根系长度呈上升趋势,说明在轻度干旱下更利于根系的生长。复水

2~6 d 各处理的株高呈现上升趋势,复水 6 d, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的株高分别比 SN14 -

CK 和 HN64 - CK 处理降低 12.45% 和 12.93%; 此阶段各处理的植株茎粗和根长呈现了增加趋势。

表 1 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗形态特性的影响

Table 1 Effects of plant growth regulator S3307 on morphology of soybean seedling under drought stress and rewater condition

测定项目 Item	处理后天数/d Days after treatment	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	根长/cm Root length
干旱时间 Drought time	2nd	SN14 - CK	18.9 ± 0.58a	2.07 ± 0.03b	32.8 ± 0.00b
		SN14 - S3307	17.4 ± 0.26b	2.22 ± 0.07a	33.3 ± 0.47a
		HN64 - CK	20.2 ± 0.52a	2.18 ± 0.03b	40.3 ± 0.32b
		HN64 - S3307	19.2 ± 0.32b	2.25 ± 0.04a	41.7 ± 0.26a
	4th	SN14 - CK	21.5 ± 0.41a	2.04 ± 0.04b	35.0 ± 0.21b
		SN14 - S3307	20.2 ± 0.31b	2.20 ± 0.03a	39.2 ± 0.28a
		HN64 - CK	21.2 ± 0.24a	2.29 ± 0.02b	43.2 ± 0.08b
		HN64 - S3307	19.7 ± 0.24a	2.40 ± 0.04a	45.8 ± 0.08a
	6th	SN14 - CK	22.0 ± 0.48a	1.97 ± 0.04b	39.0 ± 0.24b
		SN14 - S3307	20.5 ± 0.25b	2.32 ± 0.04a	40.0 ± 0.00a
		HN64 - CK	23.5 ± 0.41a	2.10 ± 0.01b	46.0 ± 0.25b
		HN64 - S3307	19.8 ± 0.25a	2.23 ± 0.02a	48.0 ± 0.24a
复水时间 Rewater time	2nd	SN14 - CK	20.5 ± 0.25a	1.87 ± 0.02b	38.0 ± 0.41b
		SN14 - S3307	19.8 ± 0.25b	2.20 ± 0.07a	38.2 ± 0.24a
		HN64 - CK	21.4 ± 0.48a	2.08 ± 0.02b	44.4 ± 0.25b
		HN64 - S3307	19.5 ± 0.00b	2.44 ± 0.03a	44.5 ± 0.41a
	4th	SN14 - CK	23.1 ± 0.39a	2.23 ± 0.01b	43.1 ± 0.33b
		SN14 - S3307	20.5 ± 0.33b	2.37 ± 0.01a	43.7 ± 0.20a
		HN64 - CK	24.5 ± 0.00a	2.31 ± 0.04b	46.3 ± 0.24b
		HN64 - S3307	19.6 ± 0.46b	2.43 ± 0.05a	49.2 ± 1.18a
	6th	SN14 - CK	24.5 ± 0.49a	2.36 ± 0.04a	44.6 ± 0.41b
		SN14 - S3307	22.5 ± 0.30b	2.41 ± 0.02a	49.3 ± 0.41a
		HN64 - CK	27.3 ± 0.30a	2.32 ± 0.04b	48.1 ± 0.25b
		HN64 - S3307	21.4 ± 0.36b	2.46 ± 0.04a	49.9 ± 0.30a
6th	SN14 - CK	32.1 ± 0.08a	2.49 ± 0.04b	33.9 ± 0.25b	
	SN14 - S3307	28.1 ± 0.19b	2.61 ± 0.01a	38.0 ± 0.47a	
	HN64 - CK	29.0 ± 0.08a	2.35 ± 0.04a	52.1 ± 0.25b	
	HN64 - S3307	25.3 ± 0.08b	2.47 ± 0.03a	54.0 ± 0.50a	

注:同一列中不同小写字母分别表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values followed by different lowercase within each column are significantly difference at the 0.05 probability level.

2.2 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗茎和根干重的影响

如表 2 所示,在整个取样时间内,SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的茎干重和根干重均显著大于 SN14 - CK 和 HN64 - CK,可以看出,烯效唑处理更有利于干旱下植株的生长。干旱胁迫 2~8 d,每两天 SN14 - CK 和 SN14 - S3307 处理的茎干重减小量分别为 0.96%、2.54%、2.80% 和 0.68%、1.09%、2.91%;HN64 - CK 和 HN64 - S3307 处理的茎干重减小量分别为 0.21%、1.70%、0.40% 和 0.22%、0.84%、2.20%,干旱胁迫 2~4 d 调节剂处理的茎干

重减小量最小。复水 2~6 d,可以看出植株生长加快,各处理的茎干重均呈上升趋势。干旱胁迫 2~8 d, SN14 - CK、HN64 - CK 和 HN64 - S3307 处理的根干重均呈现先增再降趋势,重度干旱下,SN14 - CK、HN64 - CK 和 HN64 - S3307 处理的根干重呈现下降趋势,抑制了根的生长;同样,在复水后,各处理根干重快速增加,SN14 - CK 和 SN14 - S3307 在复水 2~6 d 达到了最大增加量,分别为 0.1088 g 和 0.1106 g; HN64 - CK 和 HN64 - S3307 分别在复水 4~6 d 和 2~4 d 达到最大增加量,分别为 0.0800 g 和 0.1045 g。

2.3 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗叶片相对电导率的影响

植物叶片的相对电导率是衡量细胞膜透性的重要指标,其透性是评定植物对逆境反应的指标之一。干旱胁迫能够增加细胞膜的透性,随着干旱胁迫的加重,细胞膜透性也逐渐升高。由图1可知,在整个取样时间内,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对电导率均显著低于SN14-CK和HN64-CK处理。干旱胁迫2~8 d,SN14-CK和HN64-CK处理的叶片相对电导率均呈增加趋势,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对电导率呈下降-上升-下降趋势。在轻度干旱(干旱4 d)时,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对电导率值最小,分别为14.22%和12.01%。复水2~6 d,随着复水天数的递增,SN14-CK和HN64-CK处理的叶片

相对电导率呈下降趋势,此阶段,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对电导率变化幅度较小,表明S3307处理减缓了干旱胁迫对大豆叶片的伤害。

2.4 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗叶片相对含水量的影响

植物的叶片相对含水量可反映植株在逆境条件下的保水能力,是反映叶片水分状况的一个相对敏感的指标。由图2可知,干旱胁迫2~8 d,SN14-CK、HN64-CK、SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对含水量均呈现下降趋势,干旱胁迫严重影响了植株生长过程中叶片水分含量。调节剂处理后的叶片相对含水量显著高于对照。轻度干旱胁迫条件下,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对含水量分别比SN14-CK和HN64-CK增加

表2 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗茎和根干重的影响

Table 2 Effects of plant growth regulator S3307 on stem and root dry weight of soybean seedling leaves under drought stress and rewater condition

测定项目 Item	处理后天数 Days after treatment/d	茎干重 Stem dry weight/(g·株 ⁻¹)				根干重 Root dry weight/(g·株 ⁻¹)			
		SN14		HN64		SN14		HN64	
		CK	S3307	CK	S3307	CK	S3307	CK	S3307
干旱时间 Drought time	2nd	0.2175 ± 0.00b	0.2252 ± 0.00a	0.2041 ± 0.01b	0.2406 ± 0.03a	0.2121 ± 0.00b	0.2226 ± 0.01a	0.2334 ± 0.03b	0.2175 ± 0.00b
	4th	0.2079 ± 0.02b	0.2184 ± 0.00a	0.2020 ± 0.00b	0.2384 ± 0.02a	0.2257 ± 0.00b	0.2366 ± 0.02a	0.2425 ± 0.02b	0.2079 ± 0.02b
	6th	0.1825 ± 0.01a	0.2075 ± 0.01b	0.1850 ± 0.01b	0.2300 ± 0.00a	0.2375 ± 0.03a	0.2417 ± 0.00b	0.3075 ± 0.00b	0.1825 ± 0.01a
	8th	0.1545 ± 0.00b	0.1784 ± 0.02a	0.1810 ± 0.02b	0.20710 ± 0.00a	0.2272 ± 0.01b	0.2489 ± 0.02a	0.2951 ± 0.01b	0.1545 ± 0.00b
复水时间 Rewater time	2nd	0.1951 ± 0.01b	0.2349 ± 0.00a	0.2063 ± 0.03b	0.2730 ± 0.00a	0.3360 ± 0.01b	0.3594 ± 0.01a	0.3425 ± 0.00b	0.1951 ± 0.01b
	4th	0.2750 ± 0.00a	0.2500 ± 0.03b	0.3775 ± 0.05a	0.3100 ± 0.01b	0.3725 ± 0.00b	0.3925 ± 0.01a	0.3600 ± 0.02b	0.2750 ± 0.00a
	6th	0.3475 ± 0.00a	0.3100 ± 0.00b	0.4550 ± 0.02a	0.3350 ± 0.04b	0.2550 ± 0.03b	0.4400 ± 0.00a	0.4400 ± 0.03b	0.3475 ± 0.00a

注:同一列中不同小写字母分别表示差异达5%显著水平。

Note: Values followed by different lowercase within each column are significantly difference at the 0.05 probability levels.

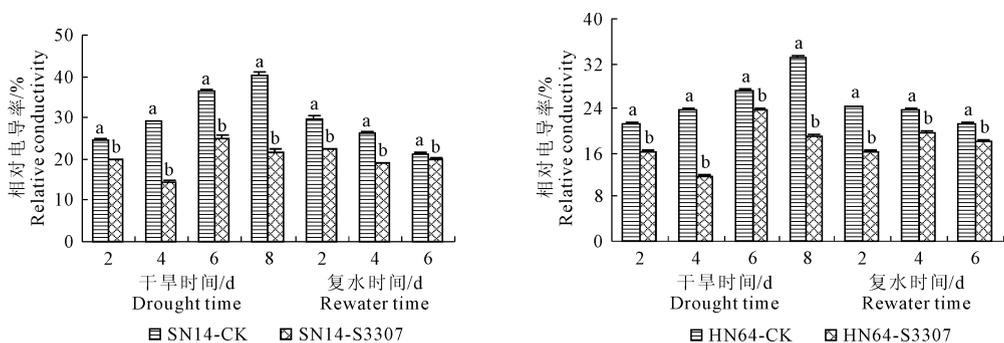


图1 干旱胁迫及复水下烯效唑对大豆叶片相对电导率的影响

Fig.1 Effects of plant growth regulator S3307 on relative conductivity in soybean seedling leaves under drought stress and rewater condition

8.96% 和 15.23%；在中度干旱胁迫条件下, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶片相对含水量分别比 SN14 - CK 和 HN64 - CK 增加 4.74% 和 14.01%；在重度干旱胁迫处理下, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶片相对含水量分别比 SN14 - CK 和 HN64 - CK 增加 7.87% 和 7.00%。干旱胁迫 8 d 至复水 4 d 各处理的叶片相对含水量均上升, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理分别较 CK 增加 20.45%、15.17%、10.12% 和 19.08%、16.50%、13.54%, 由此可以看出调节剂对干旱处理后叶片的恢复也起到了重要作用。

2.5 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆叶片叶绿素含量的影响

干旱条件下叶片叶绿素含量的变化能反映植株在逆境下维持正常代谢的能力和抗旱性。由图 3 可知, 干旱胁迫 2 ~ 8 d, SN14 - CK 和 HN64 - CK 处理的叶绿素含量呈现下降趋势, 而 SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶绿素含量呈先增加后下降的趋势, 轻度干旱胁迫时 SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶绿素含量最大。轻度干旱胁迫条件下, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶绿素含量分别比 SN14 - CK 和 HN64 - CK 增加 5.22% 和 8.00%；在中度干旱胁迫条件下, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理的叶绿素含量分别比 SN14 - CK 和 HN64 - CK 增加 4.66% 和 7.59%；在重度干旱胁迫条件处理下, SN14 - S3307 和 HN64 - S3307 处理

的叶绿素含量分别比 SN14 - CK 和 HN64 - CK 增加 2.24% 和 3.61%。复水 2 ~ 6 d, HN64 - CK 和 HN64 - S3307 处理的叶绿素含量呈现增加趋势, 而 SN14 - CK 和 SN14 - S3307 处理叶绿素含量后期出现下降趋势, 这与绥农 14 为干旱敏感型和黑农 64 为耐旱型品种具有直接关系。

3 讨论

3.1 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗形态特性的影响

烯效唑作为一种植物生长延缓剂, 能够显著增强植株的胁迫抵抗能力^[19]。有关研究表明, 水分胁迫下烯效唑处理的幼苗根系不仅能够继续生长而且会产生新的根系, 在复水后能够促进新根再生速度增加^[20]。颜艳红等^[21]研究认为适宜浓度的烯效唑种子处理显著改善了大豆和玉米间作遮阴条件下的大豆幼苗生长。王景伟^[22]研究了烯效唑对芸豆干旱胁迫的调控作用, 烯效唑处理显著降低了干旱下的幼苗株高, 控制了干旱下植株的过旺生长。本研究结果表明, 不同干旱胁迫条件下, 喷施烯效唑处理显著降低了株高, 增加了茎粗和茎干重; 调节剂处理促进了植株形成更大的根系优势, 增加了根长和根干重, 增强了根系对可利用水的获得能力, 从而保证了植株的良好生长形态, 提高了植株的抗旱能力。本试验中复水后各处理的株高、茎粗、根长、根干重和茎干重均呈现上升趋势, 说明在干旱胁迫后及时

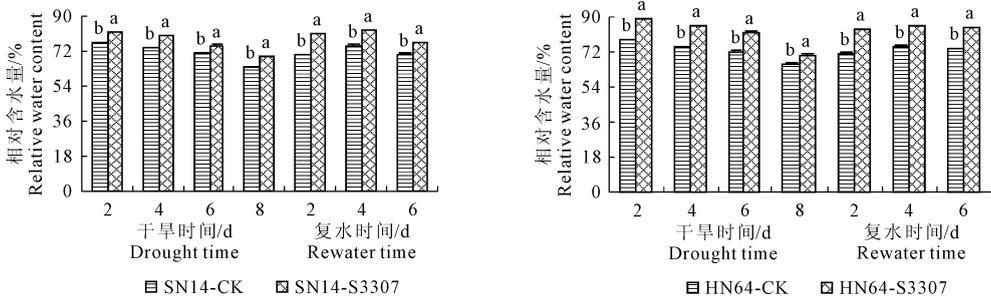


图 2 干旱胁迫及复水下烯效唑对大豆叶片相对含水量的影响

Fig.2 Effects of plant growth regulator S3307 on content of water in soybean seedling leaves under drought stress and rewater condition

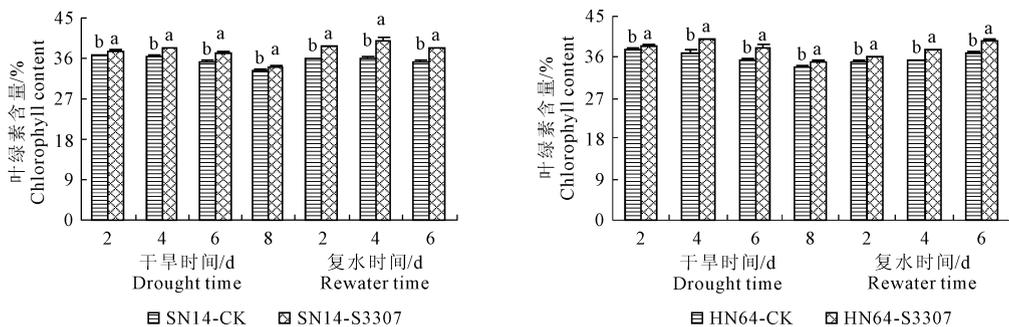


图 3 干旱胁迫及复水下烯效唑对大豆叶片叶绿素含量的影响

Fig.3 Effects of plant growth regulator S3307 on chlorophyll in soybean seedling leaves under drought stress and rewater condition

补水可恢复植株的生长发育,对农业生产中具有重要意义。

3.2 干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗生理特性的影响

烯效唑改善了干旱条件下植株幼苗的生长,与烯效唑调控了植株生理上的变化具有直接关系。大量研究表明,烯效唑处理能够使植株的细胞膜保持良好的透性,增强细胞膜的抵抗能力,还可通过改变细胞膜的理化性质来维持细胞器的结构稳定性^[23]。植物在干旱条件下,细胞膜会受到一定程度的伤害,细胞内部分电解质外渗,使细胞膜透性增加,抑制植株的生长,烯效唑的使用显著降低了细胞膜的透性,减少了细胞膜的伤害率^[24]。本研究中干旱胁迫2~8 d,随着干旱时间的增加,在轻度干旱胁迫条件下,调节剂处理的叶片电导率值最小。同时,干旱胁迫2~8 d,烯效唑处理显著提高了叶片的相对含水量,在轻度、中度和重度干旱胁迫条件下,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶片相对含水量分别比SN14-CK和HN64-CK增加8.96%、4.74%、7.87%和15.23%、14.01%、7.00%。叶片相对含水量是反映渗透胁迫下叶片水分状况一个相对敏感的指标,相关研究表明,烯效唑处理降低了叶片的气孔开度,增加了气孔阻力,减少了植物体的蒸腾失水,从而提高了植物的叶片相对含水量和抗旱性^[25]。干旱条件下,不仅影响叶绿素的生物合成,而且会加快叶绿素的分解速度。调节剂处理的叶绿素含量显著大于CK。在轻度、中度和重度干旱胁迫条件下,SN14-S3307和HN64-S3307处理的叶绿素含量分别比SN14-CK和HN64-CK增加5.22%、4.66%、2.24%和8.00%、7.59%、3.61%;在轻度干旱胁迫条件下,调节剂处理的叶绿素含量增加比例最大,说明调节剂处理对轻度干旱胁迫作用效果更好,这与前人结果一致^[12]。在干旱条件下调节剂处理明显改善植株的形态和生理性状,减缓了干旱对植株的伤害,复水后调节剂处理的植株生长也好于未处理植株。今后拟从调节剂对干旱下植株保护酶系统、激素含量以及相关抗旱性基因的影响,进一步分析调节剂在干旱下作用的机理,为调节剂在实际生产上的应用提供理论依据。

参考文献:

[1] Jaleel C A, Manivannan P, Wahid A, et al. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition [J]. *Int. J. Agric. Biol.*, 2009, 11(1): 100-105.

[2] Specht J E, Chase K, Macrander M, et al. Soybean response to water [J]. *Crop Science*, 2001, 41(2): 493-509.

[3] Wu Q S, Xia R X, Zou Y N. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2008, 44(1): 122-128.

[4] Wullschlegel S D, Yin T M, DiFazio S P, et al. Phenotypic variation in growth and biomass distribution for two advanced-generation pedigrees of hybrid poplar [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(8): 1779-1789.

[5] Mohammadian R, Moghaddam M, Rahimian H, et al. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes [J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2005, 29(5): 357.

[6] 常燕虹, 武威, 刘建朝, 等. 干旱胁迫对文冠果树苗某些生理特征的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(1): 170-174.

[7] Munné-Bosch S, Alegre L. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress [J]. *Functional Plant Biology*, 2004, 31(3): 203-216.

[8] 高蕾, 刘丽君, 董守坤, 等. 干旱胁迫对大豆幼苗叶片生理生化特性的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2009, 40(8): 1-4.

[9] 李国芸, 李志伟, 甄焕菊, 等. 水分胁迫条件下烟草生理生化响应研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(9): 298-301.

[10] 闫艳红, 李波, 杨文钰. 烯效唑浸种对大豆苗期抗旱性的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2009, 31(4): 480-485.

[11] Yuan Z, Wang B Q, Jiang Y, et al. Effects of uniconazole on physiological and biochemical properties of roots of different sweetpotato cultivars at seedling stage [J]. *Agricultural Basic Science and Technology*, 2015, 16(4): 629-633.

[12] 李宁毅, 时彦平, 王吉振. 水分胁迫下烯效唑对百日草幼苗光合特性及叶解剖结构的影响 [J]. *西北植物学报*, 2012, 32(8): 1626-1631.

[13] 李宁毅, 宋妍, 韩晓芳. 干旱胁迫下烯效唑对矮牵牛幼苗水分状况和光合特性的影响 [J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(6): 1062-1066.

[14] Bekheta M A G A, Sahbaz R, Lieberei R. Uniconazole-induced changes of stress responses of *Vicia faba*: polyphenol oxidase activation pattern serves as an indicator for membrane stability [J]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2012, 80(2): 129-134.

[15] 朱木兰, 何觉民. 烯效唑对农作物的生理效应及应用效果 [J]. *作物研究*, 1999, 13(2): 40-43.

[16] Porcel R, Ruiz-Lozano J M. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(403): 1743-1750.

[17] Barrs H D, Weatherley P E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves [J]. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1962, 15(3): 413-428.

[18] 郝再彬. 植物生理实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.

[19] Mei X, Zheng K, Wang L, et al. Studies on the effects on growth and antioxidant responses of two marine microalgal species to uniconazole [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2014, 13(5): 877-882.

[20] Fletcher R A, Gilley A, Sankhla N, et al. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants [J]. *Horticultural Reviews*, 2010, 24: 55-138.

抬升,因此,灌木带相对于退化草原的空气动力学粗糙度出现了一个向上抬升的位移。如图 4 中 T_1 测点处不同带高灌木带的位移抬升值分别为 1.72、2.45 和 3.01。此作用在图 2 中表现为灌木带较退化草原风速廓线相应的发生了向下的偏移。由此导致灌木带背风面的风速低于相同地表高度退化草原上的风速,降低的风速意味着对土壤风蚀作用的减小,从而有效地保护了草原地表,这便是灌木带对草原的防护机理所在。

0.3 m、0.7 m 和 1.5 m 高灌木带分别在背风面 3 m、5 m 及 6 m 处的空气动力学粗糙度降到了与退化草原相同的水平,表明在此区域后的范围内,灌木带将失去对草原的防护作用,风蚀量将增加。由上述规律发现,随着灌木带高度的增加,灌木防护带内的空气动力学粗糙度逐渐上升,即灌木防护带的有效防风蚀范围随着灌木带高度的增加而扩大,两者呈现正相关关系。

4 结 论

1) 灌木带提高了退化草原的抗风蚀能力,气流能量受到灌木带的强烈影响,使其周围的气流场重新分布,改变了近地表风沙流结构,致使灌木防护带内风蚀物收集量随地表高度的分布规律不明显,风蚀物主要集中在 30 cm 的近地表范围内。

2) 灌木带在一定防护区域内较退化草原的空气动力学粗糙度明显升高,且随着灌木带高度的增加,空气动力学粗糙度呈正相关上升趋势,从而导致灌木防护带内的风速较退化草地明显降低,充分体现了灌木带有效防治风蚀的机理。

3) 距灌木防护带距离越远,空气动力学粗糙度呈下降趋势,且距离达到一定值时,灌木带与退化草原的空气动力学粗糙度值趋于一致。这时灌木带对该地表将失去风蚀防护作用,因此,该测点距灌木带的距离即为灌木带的有效防风蚀区域,该规律对于

修复退化草原时合理配置灌木带的工程尺度具有十分重要的意义。

参 考 文 献:

- [1] 陈渭南,董光荣,董治宝. 中国北方土壤风蚀问题的研究进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6-12.
- [2] 陈 智, 麻硕士, 赵永来, 等. 保护性耕作农田地表风沙流特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 118-122.
- [3] 孙悦超. 内蒙古后山地区不同地表覆盖条件下土壤抗风蚀效应测试研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [4] 孙悦超, 麻硕士, 陈 智, 等. 保护性耕作农田抗风蚀效应多因素回归分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 151-155.
- [5] Hupy J P. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 58(2): 167-179.
- [6] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion[J]. Progress in Physical Geography, 1993, 17(1): 50-68.
- [7] Wolfe S A, Nickling W G. Shear stress partitioning in sparsely vegetated desert[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1996, 21: 607-620.
- [8] 程积民, 万惠娥, 王 静, 等. 半干旱区不同整地方式与灌草配置对土壤水分的影响[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(3): 10-14.
- [9] 赵 举, 郑大包, 妥德宝, 等. 阴山北麓农牧交错区带状留茬间作防风技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 5-9.
- [10] 杨 树, 温雨金, 刘鸿雁. 内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤性状的变化[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 143-146.
- [11] 赵 云, 穆兴民, 王 飞, 等. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的室内风洞实验研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 16-19.
- [12] 范清成, 王 飞, 穆兴民, 等. 保护性耕作对土壤风蚀的影响[J]. 中国水土保持科学, 2011, 19(3): 1-5.
- [13] 赵永来, 麻硕士, 陈 智, 等. 残茬覆盖地表空气动力学粗糙度变化规律[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 118-123.
- [14] Wiggs C F S, Livinstone L G, Thomas D S, et al. Air flow and roughness characteristics over partially vegetated linear dunes in the southwest karahari Desert[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1996, 21(1): 19-34.
- [15] Zingg A W. Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material[J]. Proceedings of the Fifth Hydraulics Conference, 1952, 34: 111-136.
- [21] Yan Y, Gong W, Yang W, et al. Seed treatment with uniconazole powder improves soybean seedling growth under shading by corn in relay strip intercropping system[J]. Plant Production Science, 2010, 13(4): 367-374.
- [22] 王景伟. 奶花芸豆对于干旱胁迫及烯效唑调控的响应[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
- [29] Mascher R, Nagy E, Lippmann B, et al. Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure[J]. Plant Science, 2005, 168(3): 691-698.
- [23] Bekheta M A G A, Sahbaz R, Lieberei R. Uniconazole - induced changes of stress responses of *Vicia faba*: polyphenol oxidase activation pattern serves as an indicator for membrane stability[J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2012, 80(2): 129-134.
- [24] 刘晓静, 柳小妮. 多效唑和烯效唑对草地早熟禾一些生化指标及其抗性的影响[J]. 草业学报, 2006, 15(2): 48-53.
- [25] 卢少云, 陈斯曼, 陈斯平, 等. ABA, 多效唑和烯效唑提高狗牙根抗旱性的效应[J]. 草业学报, 2003, 12(3): 100-104.

(上接第 227 页)