

水分胁迫对瓜尔豆生长和生理性状的影响

吉雪花, 郑 群*, 李 格, 庞胜群

(石河子大学农学院园艺系, 新疆 石河子 832003)

摘要: 试验采用膜下滴灌方式, 研究了四个水分处理, 即 W0 极度胁迫(灌水量 $450 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、W1 重度胁迫(灌水量 $1\,530 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、W2 轻度胁迫(灌水量 $1\,890 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、W3 充分灌溉(灌水量 $2\,250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)对瓜尔豆生长与逆境生理指标的影响。结果表明, W2 处理对瓜尔豆产量性状和各生理生化指标的影响较为明显。各水分处理对产量的影响为: $W2 > W1 > W3 > W0$; W2 处理前期可以显著增加瓜尔豆的株高和茎粗, 鼓粒期后以 W3 处理为最优。生理指标中, 处理 W2、W3 均可提高瓜尔豆叶片可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸等渗透调节物质并降低丙二醛含量; 鉴于 W2 处理叶绿素、可溶性蛋白、产量和 POD 酶活性等各项指标都表现出优于或近似于 W3 处理的效果。轻度胁迫既可实现高产, 又能最大限度地节约水分, 是非充分灌溉的良好选择。

关键词: 瓜尔豆; 水分胁迫; 膜下滴灌; 产量; 生理生化指标

中图分类号: S529.034 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0039-06

Effects of water stress on the growth and physiological traits of guar

Ji Xue-hua, ZHENG Qun*, LI Ge, PANG Sheng-qun

(Horticultural Department of Agricultural Academy of Shihezi City, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: In order to extend water-saving irrigation for guar cultivation in Xinjiang, four water deficient treatments, W0 (extreme water deficiency, total irrigation amount was $450 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W1 (heavy water deficiency, total irrigation amount was $1\,530 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W2 (light water deficiency, total irrigation amount was $1\,890 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), and W3 (full irrigation, $2\,250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) were conducted, in combination with plastic mulching and drip irrigation. Some growth parameters and physiological traits such as kernel weight, yield, and soluble sugar were analyzed. The results indicated significant effect of W2. Before the pod setting stage, high values of height and stem diameters were observed with W2. Contents of soluble sugar, soluble protein and proline increased for W2 and W3, while malonaldehyde content decreased. Regarding physiological traits such as chlorophyll, soluble protein, and POD activity, W2 is recommended as the suitable practice for guar production in Xinjiang.

Keywords: guar; water deficiency; plastic mulching and drip irrigation; seed yield; physiological traits

作物抗旱性是一个复杂的生物学性状, 它反映在一系列生理和形态变化上。形态结构是人们早期研究最多的方面。一般认为抗旱的禾本科作物叶片较小、颜色淡、叶表被毛及蜡质、有效分蘖多、茎秆较细^[1]。研究表明土壤逐渐干旱, 作物的部分根系可能枯萎死掉, 而另一部分会继续生长, 可长达几米, 并分支茂密。

蒲伟凤等^[2]报道大豆抗旱性与总根长、总根表面积、总根体积呈正相关, 与平均根直径呈负相关。另有报道证实干旱胁迫下大豆的株高与抗旱性正相关^[3]。除了可见的形态变化, 干旱也可导致作物发

生一系列的生理生化变化, 如使光合速率降低, 并影响作物的产量及品质^[4-8]。邵玺文^[9]等研究表明, 分蘖期水分胁迫, 水稻分蘖、叶面积指数和株高都明显下降。曹慧^[10]等研究表明水分胁迫使苹果属植物净光合速率、气孔导度下降。张晓芳等^[11]对大豆的研究表明水分亏缺对干物质积累有明显的抑制作用。

近年来随着科技的发展, 人们借助于分子生物学和遗传学研究作物抗旱节水的机理, 取得了重要进展。如 Masle 等^[12]从拟南芥中克隆到 ERECTA 基因, 该基因能调控植株的蒸腾效率, 在改良作物的抗旱性及水分利用效率方面展示出良好前景。Janga

收稿日期: 2013-10-30

基金项目: 国家自然科学基金(31060260)

作者简介: 吉雪花(1977—), 女, 新疆乌苏人, 讲师, 博士, 主要从事园艺植物生理生态研究。

* 通信作者: 郑 群(1968—), 男, 湖北襄樊人, 副教授, 博士, 主要从事蔬菜栽培生理生态研究。E-mail: zq1508@sina.com。

等^[13]发现聚膜蛋白 HvSec61A 复合物调控一系列抗旱基因的表达。

瓜尔豆(*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) taubert) 为豆科蝶形花亚科瓜尔豆属,原产于热带亚洲或非洲,其野生种、半野生种和人工栽培种多分布在高湿、干旱、日照时数较短的热带或亚热带沙漠边缘,属于耐旱作物。世界范围内瓜尔豆主要分布在孟加拉、缅甸、泰国、越南、印度尼西亚、巴西、澳大利亚等国。在我国,瓜尔豆主要分布在新疆、海南、云南、广西四省。瓜尔豆的大规模种植是伴随着瓜尔胶在工业上的大量应用兴起的。目前,瓜尔胶广泛应用于石油开采和加工、煤矿、冶金、医药、食品加工等行业^[14]。瓜尔豆已经成为我国重要的经济作物。新疆年均气温较低,但夏季热辐射强,气温日较差大,其水土、温热条件与瓜尔豆原产地极为相似,具有生产、栽培瓜尔豆独特的地理优势^[15]。但新疆干旱少雨,水资源匮乏,因此研究水分胁迫对瓜尔豆产量和品质的影响,对于实现瓜尔豆在新疆节水高效栽培具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011 年 4 月至 8 月在石河子大学试验

站进行,试验地为中壤土,容重 $1.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,基本理化性质为:碱解氮 $54.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质 $11.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $122.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $25.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤全氮 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

供试品种为粒用型瓜尔豆 SU-B5,由石河子大学瓜尔豆种质资源库提供。

1.2 试验设计与处理

试验采用膜下滴灌的栽培方式,于 4 月 18 日整地、铺滴灌带和地膜。畦宽 90 cm,地膜宽 70 cm,每膜下铺一条滴灌带。于 4 月 20 日人工穴播瓜尔豆种子,在滴灌带两侧 15 cm 处各播 1 行,穴距 15 cm,每穴播种 5~6 粒,播后滴水。出苗后,分别于 2 片真叶和 4 片真叶时进行间苗、中耕,每穴留苗 2~3 株,全生育期不施肥,其它管理同大田。

试验采用单因素随机区组设计,设 4 个水分处理:极度水分胁迫(W0)、重度水分胁迫(W1)、轻度水分胁迫(W2)和正常水分管理(W3)。灌水时期分别是播期(04-20),苗期(06-08),盛花期(06-25),盛荚期(07-05),鼓粒期(07-25),各处理灌水日期和灌水量见表 1。每处理重复三次,小区面积为 $0.9 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 13.5 \text{ m}^2$,水表控制每小区灌水量。为减小处理间的影响,各小区间间隔 50 cm 以上。

表 1 水分胁迫处理
Table 1 Water stress treatment

处理 Treatment	水分胁迫 Water stress	滴水日期(月-日) Dripping date(m-d)	滴水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$ Dripping amount
W0	极度缺水 Extremely drought	04-20	450
W1	重度缺水 Severe drought	04-20,06-08,06-25,07-05,07-25	450+270+270+270+270=1530
W2	轻度缺水 Mild drought	04-20,06-08,06-25,07-05,07-25	450+360+360+360+360=1890
W3	正常供水 Normal supply water	04-20,06-08,06-25,07-05,07-25	450+450+450+450+450=2250

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水量的测定 采用烘干称重法测定土壤含水量。用土钻取土,土样深度 20 cm,处理后第二天开始取样,以后每 10 天取样 1 次。

1.3.2 生长发育指标测定 每小区选取 5 株长势均匀的植株挂牌,苗齐后每 10 天测定 1 次株高和茎粗。株高采用毫米刻度尺;茎粗用游标卡尺测定,测定部位为子叶节上方 2 mm 处,垂直于子叶伸展方向进行测定。

产量测定:8 月 21 日收获后,每小区随机选取 10 株瓜尔豆植株,带回实验室测定各株的有效花序数、节数、单株荚数、单荚粒数、单株产量、千粒重、平均荚粒数等。荚重、种子重等用 1/10000 分析天平测定。

1.3.3 生理指标测定 叶绿素含量:田间活体测定,用 SPAD-502 叶绿素仪(便携式叶绿素测定仪)在上午 10:00~11:00,取倒三叶进行测定。

其它生理指标均取倒三叶,带回实验室,液氮速冻,置于超低温冰箱(-86°C)保存,用以测定 POD 活性,MDA、脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性糖含量等(测定指标均采用鲜重)。

POD 活性测定参考愈创木酚法^[16]。MDA 含量采用双组分分光光度计法^[16]。脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸法^[16]。可溶性蛋白质测定参考 Bradford 法^[16]。可溶性糖测定按照蒽酮比色法^[16]。

1.4 数据统计分析

所得数据采用 Excel 和 DPS 软件进行统计分析。

2 结果分析

2.1 水分胁迫对土壤含水量的影响

如图1所示,除W0外,其它水分处理后土壤含水量都会上升,但随时间延长又逐渐降低,再次浇水后又呈现上升。W3处理土壤水分含量最高,在13%~16%左右,其次为W2,约为13%~14%,W1处理土壤水分含量在12%~13%之间,而W0处理土壤水分含量呈持续下降趋势(6月18日和7月2日降中雨),从苗期的10%下降到盛花期的8%。

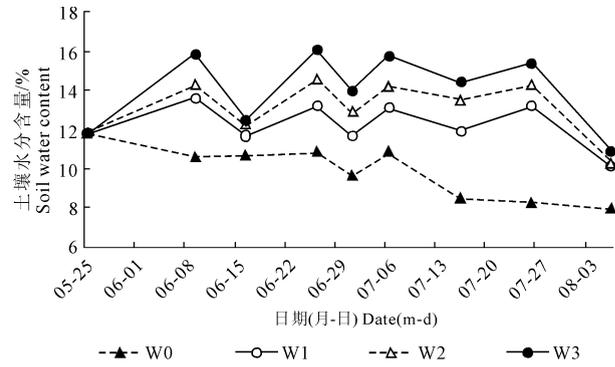


图1 不同水分胁迫土壤水分含量

Fig.1 Soil water contents of different water deficient treatments

2.2 水分胁迫对瓜尔豆株高和茎粗的影响

图2可见,瓜尔豆株高和茎粗均随着生长发育进程逐渐增加。盛荚期之前,W2处理的株高、茎粗均最大,之后W3处理的株高、茎粗逐渐超越了W2处理,到鼓粒期W3处理的株高达到了82.1 cm,比同期W2处理植株高出12.78%;鼓粒期W3茎粗约为7.5 mm,W2处理的茎粗为7.2 mm,与同期W0的6 mm和W1的6.2 mm相差较大。各处理瓜尔豆茎粗、株高比值出现近似双峰曲线,即整个生育期经历了两次升高和下降。

2.3 水分胁迫对瓜尔豆产量性状的影响

由表2可知,水分胁迫处理对瓜尔豆产量影响

明显,其中W0处理对有效花序数、单株荚数、单株粒数、千粒重和总产量影响较大,仅为W2处理相应值的66.29%、60.13%、69.44%、89.11%、77.89%。与W3相比,W2处理对瓜尔豆产量形成有明显促进作用,千粒重比W3高10.79%,总产量高16.41%。

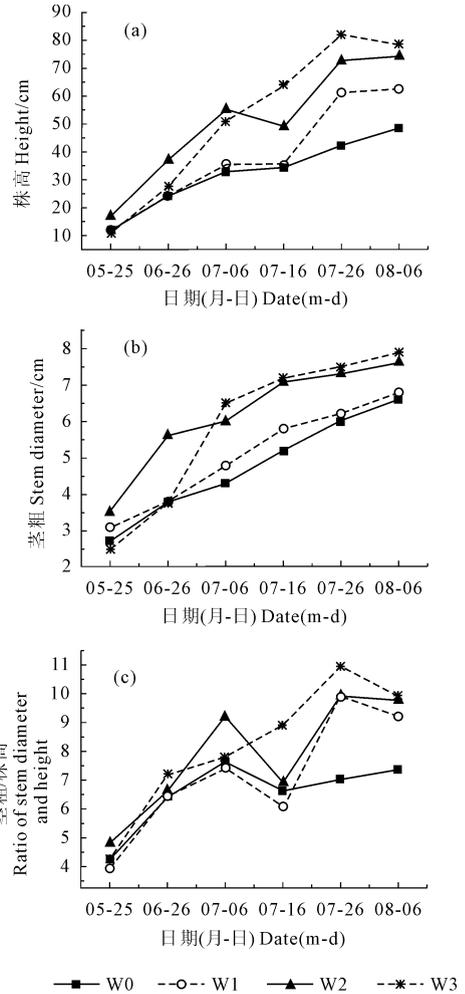


图2 不同水分胁迫对瓜尔豆株高(a)、茎粗(b)和茎粗/株高比值(c)的影响。

Fig.2 Effects of different water deficiency on height (a), stem diameter (b) and ratio of stem to height (c) of guar

表2 不同水分胁迫处理对瓜尔豆产量性状的影响

Table 2 Effect of different water deficiency on yield component of guar

处理 Treatments	单株有效花序数 Inflorescence per plant	单株荚数 Pod per plant	单株荚重 Pod weight per plant/g	单株粒数 Seed per plant	单株粒重 Seed weight per plant/g	千粒重 Thousand kernel weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
W0	11.8 ± 2.2Cc	38.3 ± 3.3Cc	15.8 ± 0.6Aa	237.9 ± 12.9Bc	8.1 ± 0.2Bd	31.1 ± 0.2b	4443 ± 87Cc
W1	13.3 ± 2.0BCb	47.7 ± 4.8Bb	13.5 ± 1.6ABb	287.2 ± 14.8Ab	11.5 ± 0.5ABb	33.4 ± 0.0a	5596 ± 135Aa
W2	17.8 ± 1.6Aa	63.7 ± 5.6Aa	16.4 ± 0.9Aa	342.6 ± 38.8Aa	12.8 ± 0.7Aa	34.9 ± 0.0a	5704 ± 128Aa
W3	13.1 ± 2.0BCb	39.3 ± 3.6Cc	12.4 ± 0.7Bc	283.9 ± 20.6Ab	9.3 ± 0.6ABc	31.5 ± 0.1b	4900 ± 163Bb

注:表中标注不同字母表示处理间差异达到显著水平, P < 0.05, P < 0.01。下同。

Note: Data with the different letter indicate significant difference at P < 0.05 and P < 0.01 level. The same as below.

2.4 水分胁迫对瓜尔豆叶片叶绿素含量的影响

由表 3 可知,随着生长发育进程的进行,瓜尔豆叶片叶绿素含量表现出先增加后降低的趋势,不同处理叶片叶绿素达到最大值的时期不一致,极度缺

水的 W0 处理在盛荚期叶绿素含量最高,其它处理在鼓粒期达到最高,到生长后期叶绿素含量有所降低。各个处理间,处理 W2 显著提高了瓜尔豆叶片叶绿素含量。

表 3 不同水分处理对瓜尔豆叶片叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of different water deficient treatments on leaf chlorophyll content (SPAD)

处理 Treatments	日期(月-日) Date(m-d)				
	06-26	07-06	07-16	07-26	08-06
W0	53.15 ± 0.24Ab	49.67 ± 6.88Bb	54.23 ± 1.2Bb	49.78 ± 3.26Bb	44.04 ± 2.99Aa
W1	57.87 ± 0.05Aa	53.88 ± 2.72Ab	58.12 ± 4.43Aab	60.81 ± 4.53Ab	52.26 ± 6.32Ab
W2	48.86 ± 0.37Ab	65.38 ± 4.34Aa	66.89 ± 0.35Aa	65.99 ± 2.23Aa	59.98 ± 5.29Aa
W3	51.78 ± 0.47Ab	62.70 ± 2.35Aa	52.07 ± 5.32Ab	54.10 ± 6.94Bb	49.46 ± 6.36Bb

2.5 水分胁迫对瓜尔豆叶片渗透调节物质的影响

由图 3 可知,各处理条件下瓜尔豆叶片可溶性糖含量前期呈上升趋势,到后期逐渐降低,盛荚期(7月16日)以后变化较平稳。各处理间表现为随着灌

水量增加叶片可溶性糖含量随之上升,W3 高于其它处理。W0、W1、W2 脯氨酸含量随瓜尔豆生长呈上升趋势,其中 W0、W1 脯氨酸持续增加,W2 脯氨酸鼓粒期后逐渐下降;而 W3 脯氨酸含量较稳定,保持在 0.1 μg 以下。各处理间,处理 W0 显著提高了瓜尔豆叶片脯氨酸含量,同时期 W0 脯氨酸含量是 W1 的 2 倍。和可溶性糖类类似,各处理瓜尔豆可溶性蛋白含量表现出先升后降的趋势,极度干旱胁迫处理 W0 在开花后可溶性蛋白开始下降,逐渐进入衰老期;而其它三个处理叶片可溶性蛋白在鼓粒期(7月26日)有少量增加,延缓了衰老。

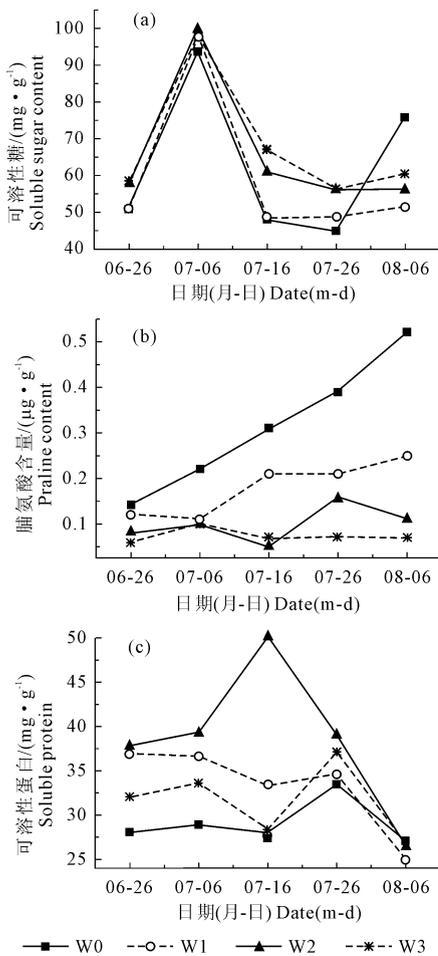


图 3 不同水分胁迫处理对瓜尔豆叶片可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量的影响

Fig.3 Effect of different water deficiency on soluble sugar content, soluble protein content and praline content of guar leaf

2.6 水分胁迫对瓜尔豆叶片丙二醛含量的影响

由表 4 可知,各处理均显示叶片丙二醛含量随瓜尔豆生长呈增加趋势。极度水分胁迫 W0 处理在盛荚期丙二醛含量最高达 $4.25 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, W1、W2、W3 的最大值分别为 $4.22 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $3.62 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.20 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,由此可知处理 W2 叶片丙二醛含量明显低于其它处理。

2.7 水分胁迫对瓜尔豆叶片 POD 活性的影响

表 5 可以看出,各水分胁迫处理瓜儿豆叶片 POD 活性随瓜尔豆的生长发育活性逐渐增强,W1、W2、W3 在盛荚期(7月16日)和鼓粒期(7月26日)活性最高,分别为 $16.98 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $17.75 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $17.94 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,到生长后期(8月6日)叶片 POD 活性分别降低至 $16.04 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $13.10 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $13.63 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$;而 W0 处理 POD 酶活性从幼苗期的 $12.52 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 持续增加至 8 月份的 $18.15 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 。整体上,随着灌水量增加瓜尔豆叶片 POD 活性也随之增强,处理 W3 和 W2 能显著提高瓜尔豆叶片在鼓粒期的 POD 活性。

表4 不同水分胁迫处理对瓜尔豆叶片丙二醛含量的影响

Table 4 Effect of different water deficient treatments on the content of MDA in guar leaves/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$

处理 Treatments	日期(月-日) Date(m-d)				
	06-26	07-06	07-16	07-26	08-06
W0	1.58 ± 0.07Aa	2.66 ± 0.03Aa	4.25 ± 0.01Aa	3.20 ± 0.07Aa	4.11 ± 0.02ABb
W1	2.29 ± 0.11Aa	2.29 ± 0.03Aa	3.63 ± 0.02Aa	3.25 ± 0.01Aa	4.22 ± 0.11Aa
W2	1.09 ± 0.12Bb	2.02 ± 0.04Aa	2.48 ± 0.02Cc	3.05 ± 0.02Bb	3.62 ± 0.11Bb
W3	1.61 ± 0.12Bb	2.07 ± 0.13Aa	2.89 ± 0.01 Bb	3.10 ± 0.01Bb	3.20 ± 0.02Bc

表5 不同水分胁迫处理对瓜尔豆叶片 POD 活性的影响

Table 5 Effect of different water deficient treatments on activity of POD in guar leaves ($\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)

处理 Treatments	日期(月-日) Date(m-d)				
	06-26	07-06	07-16	07-26	08-06
W0	12.52 ± 1.00Bb	13.52 ± 0.08Bb	13.62 ± 0.58Bb	15.31 ± 0.53Bc	18.15 ± 0.92Bb
W1	12.72 ± 1.12Ab	13.02 ± 0.91Bb	16.98 ± 1.43Aa	16.04 ± 1.92Bb	16.04 ± 1.72Bb
W2	11.87 ± 2.11Ab	15.18 ± 0.52Aa	16.82 ± 0.04Aa	17.75 ± 0.63Aa	13.10 ± 0.43Bb
W3	12.05 ± 1.92Aa	13.89 ± 0.43Bb	17.01 ± 1.72Aa	17.94 ± 1.02Aa	13.63 ± 0.81Aa

3 讨论

关于水分与作物高产的关系,目前并无定论。Fisher^[17]认为任何时期、任何程度的干旱都会造成作物减产,而 Turner^[18]认为充足供水与适当控水交替更利于作物的高产。张喜英^[19]也指出,一定时期、一定程度的水分胁迫不一定会导致减产,有可能增加产量且提高水分的利用效率。本研究轻度胁迫 W2 处理瓜尔豆产量比充足水分的 W3 处理高。水分对作物产量的影响不仅与干旱程度有关,还与作物的生长发育阶段有关。对豆科植物而言,花荚期干旱是造成减产的限制性因子。在花荚期中,荚期对干旱更加敏感,荚期干旱减产损失比花期更大。韩晓增^[20]等报道大豆营养生长期干旱减产 19.4% ~ 21.1%;花期干旱减产 17.7% ~ 25.9%;荚期干旱减产 23.77% ~ 33.89%;鼓粒期干旱减产 12.25% ~ 40.61%。产量性状分析发现,各产量性状中水分处理对单株结荚数影响最大,不同处理间均达到显著差异,与其它产量性状如单荚重、千粒重差异不显著,表明瓜尔豆结荚期对水分胁迫更为敏感。产量来源于同化物,而同化物的积累与叶绿素含量直接相关。有研究表明干旱能够加速叶片衰老,使小麦旗叶叶绿素含量下降^[21]。郑灵祥^[22]研究表明,随着水分胁迫程度的增加,玉米叶绿素含量下降加剧。本研究中极度胁迫 W0 处理叶片叶绿素含量最低,下降最早,因而产量也最少。

水分胁迫是自然界中作物最常见的一种逆境,逆境下,植物通过增加胞内溶质浓度,降低渗透势达

到从外界吸水从而维持一定的膨压,保证正常的代谢活动。可溶性糖和脯氨酸是植物体内主要的渗透调节物质,参与渗透势的调节。脯氨酸可以清除体内的活性氧自由基,由于其水溶性高,通常逆境下含量会增加。吕金印^[23]对高粱的研究表明,水分胁迫下抗旱品种积累的脯氨酸远多于不抗旱品种。本研究中 W0 处理的脯氨酸和可溶性糖含量较高,而蛋白的含量较低,说明极度干旱下瓜尔豆增大胞内溶质浓度,降低渗透势,以最大可能地吸收到更多的水分。由于缺乏水分,植物体内蛋白质合成受到抑制,造成膜结构的损害和渗漏,使植株早衰,从而减产。

逆境下,除了渗透调节外,在生理层面,植物还会调节保护酶系统来抵御不良环境。过氧化物酶(POD)是细胞抵御活性氧的保护酶系统之一,在清除超氧自由基、过氧化氢和过氧化物,阻止或减少氧自由基形成方面具有重要作用。关于 POD 在逆境中的作用目前尚无统一的认识。有人认为 POD 活性升高是植物受到伤害的标志,但也有人认为是植物对逆境的适应性反应,这主要与 POD 的双重作用有关。POD 既是细胞活性氧保护酶,又参与叶绿素降解、活性氧产生,并能引发膜脂过氧化。干旱胁迫下,抗旱性强的植物 POD 酶活性上升。王启明^[24]研究表明,轻度干旱胁迫下,大豆 SOD、POD 活性增加,丙二醛增幅较小,随着干旱胁迫加剧,SOD、POD 酶活性明显下降,MDA 含量增幅显著。说明轻度干旱胁迫会促使植物提高 POD 酶活性来清除自由基的伤害,而重度干旱会使 POD 的保护和膜脂过氧化

作用同时表现,因而会持续上升。

本研究中,处理 W2、W3 可以提高瓜尔豆叶片可溶性糖、可溶性蛋白等渗透调节物质含量,且二者无显著差异;另外处理 W2 可以显著提高瓜尔豆叶片叶绿素、可溶性蛋白和产量,表现出较好的抗衰老效果。总体看来,处理 W2 既可实现高产优质的目的,又能最大限度地节约水分,是非充分灌溉的良好选择。采用此灌水量进行瓜尔豆栽培在干旱区既经济又实惠,有较好的推广应用价值。

参 考 文 献:

- [1] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85.
- [2] 蒲伟凤,李桂兰,张敏,等.干旱胁迫对野生和栽培大豆根系特征及生理指标的影响[J].大豆科学,2010,29(4):615-622.
- [3] 任海祥,童淑媛,杜维广,等.结荚鼓粒期土壤水分胁迫对不同大豆品种形态和生理特性的影响[J].中国油料作物学报,2011,33(4):362-367.
- [4] 刘明池,陈殿奎.亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J].中国蔬菜,2002,(6):4-6.
- [5] 高中超,周宝库,张喜林.大豆对干旱胁迫生理生化的响应[J].大豆通报,2007,(5):27-29.
- [6] 齐红岩,李天来.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.
- [7] 王春艳,庞艳梅,李茂松,等.干旱胁迫对大豆气孔特征和光合参数的影响[J].中国农业科技导报,2013,15(1):109-115.
- [8] 闫春娟,韩晓增,王文斌,等.水钾耦合对大豆光合特性及其产物积累运转的影响[J].中国油料作物学报,2012,34(1):48-55.
- [9] 邵玺文,阮长春.分蘖期水分胁迫对水稻生长发育及产量的影响[J].吉林农业大学学报,2005,27(1):6-10.
- [10] 曹慧,许雪,韩振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J].园艺学报,2004,31(3):285-290.
- [11] 张晓芳,贾志宽,朱翠,等.水分胁迫对大豆结荚期光合生理及生物量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):97-103.
- [12] Masle J, Gilmore S R, Farquhar G D. The *ERECTA* gene regulates plant transpiration efficiency in *Arabidopsis*[J]. Nature, 2005,436:866-870.
- [13] Janga C S, Leea T G, Kima J Y, et al. The molecular characterization of a cDNA encoding the putative integral membrane protein, HvSec61a, expressed during early stage of barley kernel development[J]. Plant Science, 2005,168:233-239.
- [14] 徐又新,史劲松,孙达峰,等.瓜尔豆的资源分布及引种栽培[J].中国野生植物资源,2009,28(2):69-71.
- [15] 赵扬,吕国华,金新文,等.瓜尔豆产量构成因素的分析[J].石河子大学学报(自然科学版),1999,3(2):48-69.
- [16] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:168-169.
- [17] Fisher P A. The effect of water stress at various stages of development on yield processes in wheat[J]. Plant Responses to Climate Factors, 1971,(6):223-241.
- [18] Turner N C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants[C]//HarryMussall. Stress Physiology in Crop Plants. New York: John Wiley and Sons, 1979:343-372.
- [19] 张喜英,由懋正.不同时期水分调亏及调亏程度对冬小麦产量的影响[J].华北农学报,1999,14(2):79-83.
- [20] 韩晓增,乔云发,张秋英,等.不同土壤水分条件对大豆产量的影响[J].大豆科学,2003,22(4):269-272.
- [21] 郭晓维,赵春江.水分对小麦形态、生态特性及产量的影响[J].华北农学报,2000,15(4):40-44.
- [22] 郑灵祥,王密侠.水分胁迫对夏玉米生理指标的影响[J].中国农村水利水电,2010,(4):43-46.
- [23] 吕金印,郭涛.水分胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):89-93.
- [24] 王启明.干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(4):918-921.