

水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及水分利用的影响

夏桂敏, 姚珍珠, 王淑君, 李永发, 迟道才
(沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 为探究水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及水分利用的影响, 利用滑动遮雨棚开展了花生的盆栽试验。结果表明: 水分胁迫极显著降低花生地上部干重, 相比 W_3 (轻度胁迫), W_1 (重度胁迫) 和 W_2 (中度胁迫) 处理花生地上部干重分别降低 24.00% 和 10.60%; 随着斜发沸石的施入, 花生地上部干重提高了 7.74%, 中度水分胁迫、施加斜发沸石处理花生地上部干重最大, 中度水分胁迫下, 花生产量为 38.05 ± 4.82 g, 较轻度水分胁迫产量降低了 7.69%, 为最小降幅, 且施加斜发沸石后花生产量为 42.37 ± 1.04 g, 增产幅度为最大值 (25.65%); 中度水分胁迫 (W_2) 花生水分利用效率最大 (1.50 ± 0.21 g·L⁻¹), 且施加斜发沸石后花生水分利用效率达到 1.68 ± 0.09 g·L⁻¹, 成为在数值上推荐获得水分利用效率最优的处理。采用中度水分胁迫和施用斜发沸石能够实现花生节水高产的生产目标。

关键词: 花生; 水分胁迫; 斜发沸石; 产量; 水分利用
中图分类号: S565.2 **文献标志码:** A

Effects of water stress and clinoptilolite application on yield and water use of peanut

XIA Gui-min, YAO Zhen-zhu, WANG Shu-jun, LI Yong-fa, CHI Dao-cai
(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: To explore the influence of water stress and clinoptilolite on peanut yield and water use, peanut pot experiments were carried out in a sliding canopy. The results showed that water stress significantly reduced the ground dry weight of peanut. Compared with W_3 , W_1 and W_2 decreased the ground dry weight of peanut by 24.00% and 10.60%, respectively. With the application of clinoptilolite, the ground dry weight of peanut increased significantly by 7.74%, and the interaction between water stress and clinoptilolite. Peanut yield was 38.05 ± 4.82 g under moderate water stress, 7.69% lower than that of mild water stress, being the minimum decrease, while it was 42.37 ± 1.04 g with clinoptilolite application and increased by 25.65% which was the maximum value. Water use efficiency of peanut was the highest (1.50 ± 0.21 g·L⁻¹) under moderate water stress (W_2), while it was 1.68 ± 0.09 g·L⁻¹ after applying clinoptilolite which was the optimal treatment to get the beat water use efficiency. The moderate water stress and the application of clinoptilolite could achieve the goal of water saving and high yield of peanut.

Keywords: peanut; water stress; clinoptilolite; yield; water use efficiency

花生 (*Arachis hypogaea* Linn) 是我国主要的油料作物和重要的经济作物, 其生产发展对于增加我国蛋白质及食用植物油的供给具有重要的作用^[1-4]。花生是较耐旱耐寒的经济作物, 也是发展旱作农业、充分开发利用旱薄地资源的理想作物。但由于我国花生主要种植在干旱、半干旱地区, 地域降雨量偏少、降雨集中和季节性干旱, 使得花生在不同生育阶段, 常常会受到干旱胁迫的影响^[5]。据统计, 常年我国 70% 的花生受到不同程度干旱胁迫的影响, 花生减产占全国总产量的 20% 以上, 且使花生品质降低, 黄曲霉毒素污染严重^[6-7]。因此, 干旱成为限制和危害花生生产种植的最大因素之一^[8]。

斜发沸石作为一种良好的非金属节水材料,将其运用在农业生产中除了能够提高土壤物理特性外,还能够暂时缓解土壤水分胁迫,降低生长时期植物萎焉的风险^[9]。但如何科学地将其结合土壤水分胁迫,施用在花生生产实践并发挥其节水保肥的功效,缓解水分胁迫对花生造成的减产损失,对我国花生节水生产具有重要的现实意义。已有研究表明,沸石是一种具有三维晶体结构的水合硅铝酸盐,能够非破坏性改变其构成元素来可逆性吸收和释放水分。魏江生对人工沸石在干旱地区农业开发中的作用研究时,发现土壤中加入沸石,可使土壤有效水含量和有效雨量增大,从而减少灌溉水量^[10]。曹晓燕总结天然沸石的应用得出,砂质土壤施入沸石可增加其持水能力,减缓土壤水分的无效损失,利于作物对水分吸收^[11]。Xiubin 研究斜发沸石应用对黄土渗透及截留影响得出,斜发沸石能够提高耕土层保水能力,减少地表径流损失,保护土壤不受侵蚀^[12];斜发沸石除了直接影响土壤含水量之外,其缓释水分特征能够改善水分胁迫条件下植物生长环境,减缓干旱对植物生长的有害损伤。Zahedi 研究斜发沸石的施用对菜籽抗氧化酶活性的影响,发现土壤施入斜发沸石能够提高土壤水分蓄存能力,减缓土壤水分胁迫,进而降低抗氧化酶活性^[13];Reza 对大豆进行水分胁迫条件下沸石和牛粪施用的试验得出,沸石和牛粪的施用提高土壤相对含水量,缓解叶片细胞相应酶活性,进而改善大豆水分胁迫条件下生长环境^[9]。Majid Gholamhoseini 研究沸石堆肥对向日葵产量及养分流失的影响发现,沙壤土中施用沸石和堆肥能够减少氮肥流失,提高向日葵的氮肥利用率,同时增加向日葵产量^[14]。He 等研究在沙壤土中添加斜发沸石修复剂后,增加了土壤表面积和离子交换能力,进而提高了土壤的含水量和养分含量^[15]。但大多数针对斜发沸石运用在农业生产中的研究,并没有具体分析水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及水分利用的影响规律。为此,本文以花生为材料,进行了盆栽试验,以便进一步深入探讨水分胁迫和斜发沸石施用对花生产量的影响规律及其调节花生水分利用效率的机制,以期斜发沸石在花生生产实践的运用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

试验于 2015 年 5—10 月在辽宁省农科院作物抗旱栽培模拟试验场内进行,试验场设有自动遮雨棚。试验采用盆栽覆膜种植方式,盆高 30 cm,上、下内径分别为 26 cm 和 18 cm。试验采用耕层 0~30

cm 的表层土,土壤类型为褐土,土壤质地为砂壤土,0~30 cm 土壤田间持水量为 32% (体积含水量),土壤容重为 $1.4\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。试验前将土壤进行风干,2 mm 过筛后装盆,每盆装风干土 20 kg,其风干土含水量 2.66%。种植前,对盆进行灌水,使土壤含水量达到田间持水量的 70%。将 36 g (折合大田为 $1.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 斜发沸石同表土进行混合后,将 9.54 g N-P-K 复合肥 (折合大田 $600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 穴施于盆内,距离种穴水平 7 cm。选取饱满一致的种子 3 粒穴播,每盆一穴。出苗后间苗,每盆剩余 1 株。

1.1 试验处理

试验采用裂区试验设计,共设两个变量因子:土壤水分胁迫 (W) 和斜发沸石 (Z),花生需水关键期 (即花针期和结荚期) 土壤水分胁迫 (W) 设为主区,设 3 个水平:土壤相对含水量为田间持水量的 $55\%\pm 5\%$ (重度胁迫 W_1)、 $65\%\pm 5\%$ (中度胁迫 W_2) 和 $75\%\pm 5\%$ (轻度胁迫 W_3),其它生育期均保持田间持水量 $75\%\pm 5\%$;斜发沸石 (Z) 设为裂区,设 2 个水平: Z_1 (无斜发沸石) 和 Z_2 (斜发沸石施用量 $36\text{ g}\cdot\text{盆}^{-1}$)。试验期间通过确定土壤含水率达田间持水率时盆的总重,用称重法控制土壤水分上下限,灌水量根据盆内土壤含水率分别达到相应田间持水率的上下限百分数时的总重量之差确定。试验共设 6 个处理,每个处理 3 次重复,具体试验处理布置见表 1。

表 1 试验处理
Table 1 Treatment arrangement

试验处理 Treatments		土壤含水量/% Soil moisture content	沸石/($\text{g}\cdot\text{盆}^{-1}$) Zeolite /($\text{g}\cdot\text{plot}^{-1}$)
重度水分胁迫 (W_1) Severe water stress	无沸石 (Z_1) No clinoptilolite	$55\%\pm 5\%\theta_f$	0.00
	施沸石 (Z_2) Clinoptilolite	$55\%\pm 5\%\theta_f$	36.00
中度水分胁迫 (W_2) Moderate water stress	无沸石 (Z_1) No clinoptilolite	$65\%\pm 5\%\theta_f$	0.00
	施沸石 (Z_2) Clinoptilolite	$65\%\pm 5\%\theta_f$	36.00
轻度水分胁迫 (W_3) Mild water stress	无沸石 (Z_1) No clinoptilolite	$75\%\pm 5\%\theta_f$	0.00
	施沸石 (Z_2) Clinoptilolite	$75\%\pm 5\%\theta_f$	36.00

注: θ_f 为田间持水率。Note: θ_f is the field holding capacity.

1.2 观测指标与测定方法

1.2.1 耗水量与灌水量 每日 6:00—7:00 定时用电子天平秤称重,两日称重之差即耗水量。计算各处理花生逐日耗水量,低于相应的下限后根据计算值灌水至相应的上限。计算并记录每日的耗水量与

灌水量。

1.2.2 产量 生育后期对每个处理单株花生进行单产单收,准确记录每个处理花生的单株果数和有效果数,并测定每个处理的籽仁重,最后计算每个处理的饱果率和出仁率。

1.2.3 花生干物质积累量 收获期对每个处理单株花生进行根和地上部株体分离,称重。然后分别置于烘箱中于 105℃杀青 30 min 后,于 80℃烘干至恒重,恒温干燥器中冷却至室温,称重记数。

1.3 数据分析

用 SAS(version 9.4; SAS Insititute, Cary, N. C., USA)对结果进行统计分析。每个取样日期的数据进行单独分析,平均数用 Duncan 多重检验法 (DM-RT)进行处理间的多重检验。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分胁迫和斜发沸石应用对花生地上部干重、根干重及根冠比的影响

不同水分胁迫 (W)和斜发沸石水平 (Z)花生地上部干重、根干重及根冠比经方差分析得到表 2 所示的结果。由表 2 可知,W 对花生地上部干重、根干重及根冠比均有极显著影响,Z 对地上部干重具有极显著影响,对根干重影响显著,但对根冠比影响不显著,Z×W 交互作用显著影响地上部干重(表 2)。

表 2 不同水分胁迫和斜发沸石处理下花生地上部干重、根干重及根冠比方差分析

Table 2 Analysis of variance of ground dry weight, root dry weight and root to shoot ratio of peanut under different water stress and clinoptilolite			
误差源 Source	地上部干重 Ground dry weight	根干重 Root dry weight	根冠比 Root to shoot ratio
Rep	1.26	0.31	0.04
Z	35.84 **	16.57 *	0.36
W	246.02 **	164.66 **	105.96 **
W×Z	15.21 *	4.95	5.16

注:表中数值表示各主因子和交互因子方差分析的 F 值,且 * 和 ** 分别表示在 P<0.05 和 P<0.01 水平上差异显著。Rep 表示区组因素。

Note: The values are F values of the variance analysis for each main factor and interaction factor, meanwhile * and ** were significantly different at P<0.05 and P<0.01 probability level, respectively. Rep indicates block factor.

不同水分胁迫、斜发沸石水平及两者交互效应下花生地上部干重的平均值列于表 3。由表 3 可知,水分胁迫极显著降低花生地上部干重。相比

W₃,W₁ 和 W₂ 水平花生地上部干重分别降低 24.00%和 10.60%;随着斜发沸石的施入,花生地上部干重极显著提高了 7.74%;水分胁迫和斜发沸石交互效应分析可得 W₃Z₂,W₃Z₁ 和 W₂Z₂ 花生地上部干重较大,且三者间无显著性差异,说明 W₂Z₂ 可实现对花生地上部干重影响较小的情况下达到节水的目标。

表 3 不同水分胁迫、斜发沸石处理及两者交互效应花生地上部干重的平均值

Table 3 Mean ground dry weight of peanut under the combinations of different water stress and clinoptilolite and interaction effect among them				
水分胁迫 Water stress	斜发沸石 (g·盆 ⁻¹) Clinoptilolite (g·pot ⁻¹)		平均值/(g·株 ⁻¹) Mean/(g·plant ⁻¹)	
	0(Z ₁)	36(Z ₂)		
W ₁	25.25±0.95c	30.81±0.76b	28.03±3.29c	24.00%
W ₂	32.38±0.73b	33.5±0.66ab	32.97±0.89b	10.60%
W ₃	36.62±0.17a	37.15±0.19a	36.88±0.34a	
均值 Mean	31.41±5.17b	33.84±2.88a		

注:表中数据为平均值±标准差;不同字母表示 P<0.05 水平上差异显著。

Note: Statistics on the chart are made of average value ± standard deviation, while different lowercase letters significant at P<0.05 level.

不同水分胁迫和施入斜发沸石条件下花生平均根干重见图 1。由图 1 可知,随着水分胁迫的增加,根干重显著减小,W₁ 比 W₃ 减小 45.41%,差异显著,W₂ 比 W₃ 减小 14.59%,差异不显著;施加斜发沸石根干重增加了 5.91%。

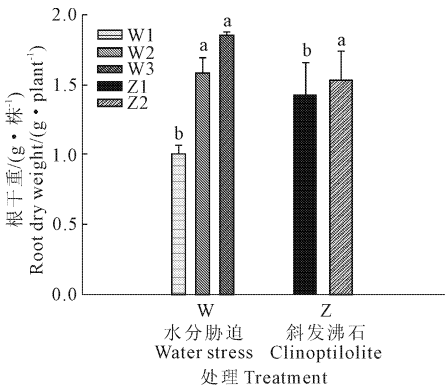


图 1 水分胁迫和斜发沸石对花生根干重的影响
Fig.1 Effects of water stress and clinoptilolite on root weight of peanut

不同水分胁迫对花生根冠比的影响如图 2 所示。由图 2 可知,水分胁迫程度愈大,花生根冠比愈小。W₁ 比 W₃ 降低 40%,差异显著;W₂ 和 W₃ 花生根冠比分别为 0.04 和 0.05,差异未达显著水平。

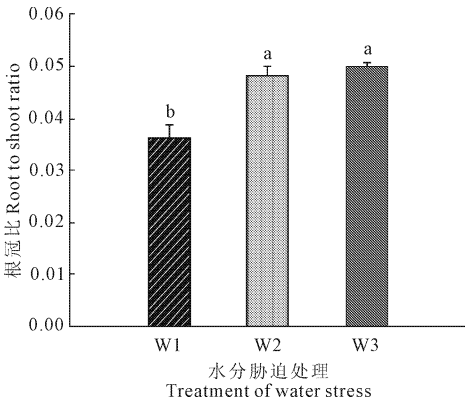


图 2 水分胁迫对花生根冠比的影响

Fig.2 Effect of water stress on root to shoot ratio of peanut

2.2 不同土壤水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及产量构成因素的影响

不同水分胁迫(W)和斜发沸石水平(Z)下花生荚果产量经过裂区试验方差分析得到表 4 结果。从表 4 可知,W 对花生产量的影响极显著;Z、Z * W 交互作用显著影响花生的产量。Rep 的显著水平为 0.3714,远远大于 0.05,说明试验处理的三个重复间差异较小,本试验结论稳定可靠。

表 4 花生产量方差分析

Table 4 Variance analysis results for the yield of peanut					
因素 Factor	自由度 DF	平方和 Sum of squares	均方差 Mean square	F 值 F value	P
Rep	2	4.70	2.35	1.12	0.3714
Z	1	121.06	121.06	71.44	0.0137
Rep × Z	2	3.39	1.69	0.81	0.4783
W	2	929.99	464.99	222.26	< 0.0001
Z × W	2	28.18	14.09	6.74	0.0193

不同水分胁迫处理(W)和斜发沸石水平(Z)花生实际产量如图 3 所示。由图 3 可知,水分胁迫显著降低花生产量。其中,重度水分胁迫(W₁)和中度水分胁迫(W₂)花生产量相比轻度水分胁迫(W₃)分别降低 39.71% 和 7.69%。说明水分胁迫程度愈

大,花生减产愈严重。施入斜发沸石花生生产量提高 11.52%。利用 DMRT 检验法对水分胁迫(W)和斜发沸石(Z)交互效应不同水平进行比较,其结果如图 4 所示。由图 4 可知:花生产量最佳组合为 W₃Z₂ (43.28 ± 1.88 g)和 W₂Z₂ (42.37 ± 1.04 g),且数值上 W₂Z₂ 比 W₃Z₁ 花生产量降低 2.10%,差异不显著。说明斜发沸石的施用能够弥补水分胁迫造成花生的减产。施加斜发沸石在中度水分胁迫条件下增产幅度达到最大,其值为 25.65%,其次为重度水分胁迫下 12.23%,最后为轻度水分胁迫 10.38%。

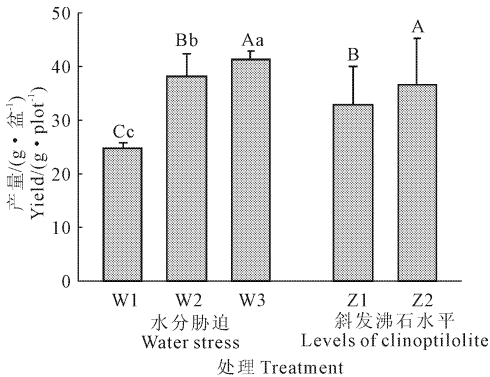


图 3 不同水分胁迫和斜发沸石处理花生产量

Fig.3 Peanut yield under different water stress and clinoptilolite

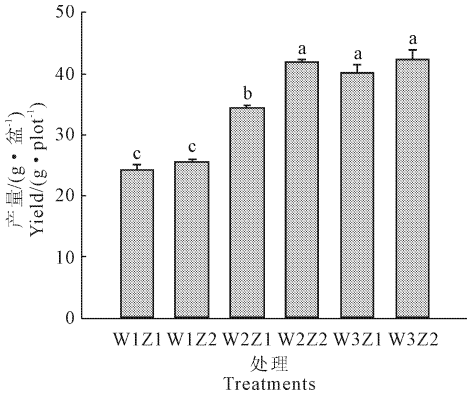


图 4 水分胁迫和斜发沸石交互效应对花生产量的影响

Fig.4 Effects of the interaction of water stress and clinoptilolite on peanut yield

表 5 不同处理下花生产量性状方差分析

Table 5 Variance analysis results for the yield components of peanut					
因素 Factor	籽仁重/g Seed kernel weight	饱果率/% Plump pod rate	出仁率/% Kemel rate	单株果数/个 Number per plant	饱果数/个 Plump pot number
Rep	1.07	1.81	1.24	0.39	0.37
Z	356.57**	28.06*	34.53*	4.46	8.27
Rep × Z	0.76	0.73	0.28	2.38	2.65
W	6319.23**	6.29*	2.40	75.04**	70.91**
Z × W	49.06**	5.21*	7.62*	2.38	4.55*

表 6 不同处理对花生产量性状的影响

Table 6 Influence on peanut yield components under different treatments

因素 Factor	水平 Level	产量/(g·株 ⁻¹) Yield /(g·plant ⁻¹)	籽仁重/(g·株 ⁻¹) Seed kernel weight /(g·plant ⁻¹)	饱果率/% Plump pod rate	出仁率/% Kemel rate	单株果数 /(个·株 ⁻¹) Number per plant	饱果数 /(个·株 ⁻¹) Plump pot number per plant
沸石 Zeolite	Z ₁	32.05 ± 7.15Bb	27.33 ± 5.83B	79.21 ± 5.40B	73.78 ± 6.11B	32 ± 7A	26 ± 7A
	Z ₂	37.24 ± 8.47Aa	29.18 ± 4.90A	85.63 ± 3.37A	75.91 ± 4.52A	36 ± 9A	31 ± 8A
水分胁迫 Water deficit stress	W ₁	24.65 ± 1.97Ce	19.69 ± 1.78C	79.28 ± 6.73B	79.93 ± 4.62A	24 ± 2B	19 ± 2B
	W ₂	38.05 ± 4.82Bb	30.36 ± 1.04B	85.41 ± 2.46A	80.59 ± 7.63A	38 ± 3A	32 ± 3A
	W ₃	41.25 ± 2.77Aa	34.71 ± 0.29A	82.56 ± 5.28AB	84.45 ± 5.30A	40 ± 5A	34 ± 6A

注:表中数据为平均值±标准差;且每个因素不同大写字母表示 $P < 0.05$ 水平下显著,不同小写字母表示 $P < 0.01$ 水平下显著。
Note: data are shown in average value ± standard deviation; capital and lowercase letters indicate significance at 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

对产量性状进行方差分析可知,不同水分胁迫对花生籽仁重、单株果数和饱果数均极显著影响,对饱果率具有显著影响,而水分胁迫对出仁率影响不显著(表 5)。斜发沸石的施用极显著影响花生籽仁重,显著影响饱果率和出仁率。同时,利用 DMRT 检验法对水分胁迫和斜发沸石两个主效应不同水平进行比较,其结果如表 6 所示。由表可知:(1) 花生籽仁重随水分胁迫程度的增加而减少,且相比 W₃,W₁ 和 W₂ 花生籽仁重分别降低 43.27% 和 12.53%,水平间差异显著;花生单株果数和饱果数也随水分胁迫程度增加而减少,但 W₂ 同 W₃ 差异不显著;花生饱果率 W₂ 水平最大为 85.41%。(2) 施加斜发沸石

显著增加花生籽仁重、饱果率和出仁率,分别提高了 6.77%、8.11% 和 2.89%。

通过比较花生理论产量和产量构成指标间相关系数,如表 7,可以得到花生实际产量同籽仁重、单株果数和饱果数极显著正相关,同饱果率显著正相关性,同出仁率呈负相关。综合方差分析和相关分析结果可得,产量各构成指标对产量的影响从大到小排列依次为:籽仁重、饱果率、单株果数、饱果数、出仁率。由此结合水分胁迫和斜发沸石交互效应对花生产量构成各指标的影响,W₂Z₂ 处理花生获得最佳产量构成。

表 7 花生理论产量和产量性状的相关性

Table 7 Correlation coefficients among peanut theoretical yield and yield components

指标 Index	籽仁重/(g·株 ⁻¹) Seed kernel weight /(g·plant ⁻¹)	饱果率/% Plump pod rate	出仁率/% Kemel rate	单株果数 /(个·株 ⁻¹) Number per plant	饱果数/(个·株 ⁻¹) Plump pot number per plant
产量/(g·株 ⁻¹) Yield/(g·plant ⁻¹)	0.861**	0.518*	-0.224	0.879**	0.876**
籽仁重 Seed kernel weight/g		0.368	0.385	0.843**	0.822**
饱果率 Plump pod rate/%			-0.083	0.525*	0.670**
出仁率 Kemel rate/%				-0.058	-0.021
单株果数 Number per plant/(个·株 ⁻¹)					0.979**

注:* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。
Note: * and ** indicate significant relevant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 不同土壤水分胁迫和斜发沸石应用对花生灌水量及水分利用效率的影响

不同水分胁迫和斜发沸石应用处理花生灌水量和水分利用效率方差分析结果如表 8 所示。由表 8 可知,水分胁迫对花生产量及水分利用效率影响极显著;斜发沸石的施用显著影响花生产量及水分利用效率,对花生灌水量影响不显著;水分胁迫和斜发沸石的交互效应仅对花生产量具有显著影响。

对两个主效应运用 DMRT 进行两因素不同水平

间差异显著性分析得到表 9。由表 9 可知,施用斜发沸石能够极显著提高花生产量,因其对花生灌水量影响不显著,最终显著提高花生水分利用效率,Z₁ 比 Z₂ 水分利用效率提高 15.52%,差异显著;不同水分胁迫对花生水分利用效率影响不同。中度水分胁迫(W₂) 花生水分利用效率最大(1.50 ± 0.21 g·L⁻¹),其次为轻度(W₃)和重度水分胁迫(W₁),其值分别为 1.42 ± 0.08 g·L⁻¹和 1.18 ± 0.13 g·L⁻¹,另外 W₂ 比 W₁、W₃ 花生水分利用效率分别提高了

25%和 13.51%。随着水分胁迫程度不断加重,花生灌水量不断减少,即 $W_3 > W_2 > W_1$,且 W_1 比 W_2 、 W_3 分别减少 3.68 L 和 8.08 L 灌水量。

表 8 花生产量、灌水量及水分利用效率裂区方差分析
Table 8 Variance analysis results for yield, irrigation amount and water use efficiency of peanut

误差源 Source	产量 /(g·盆 ⁻¹) Yield /(g·plot ⁻¹)	灌水量 /(L·盆 ⁻¹) Irrigation amount /(L·plot ⁻¹)	水分利用效率 Water use efficiency /(g·L ⁻¹)
Rep	1.12	3.86	0.49
Z	71.44 *	0.27	36.44 *
W	222.26 * *	128.17 * *	21.46 * *
W×Z	6.74 *	1.89	3.16

注:表中数值表示各主因子和交互因子方差分析的 F 值; * 和 * * 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上差异显著。
Note: the values are F values of the variance analysis for each main factor and interaction factor; * and * * were significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level.

表 9 不同处理对花生水分利用效率的影响
Table 9 Influence on average peanut water use efficiency under different treatments

因素 Factor	水平 Level	产量/(g·盆 ⁻¹) Yield /(g·pot ⁻¹)	灌水量/L Water consumption	水分利用 效率/(g·L ⁻¹) Water use efficiency
沸石 Zeolite	Z ₁	32.05 ± 7.15Bb	25.23 ± 3.34Aa	1.74 ± 0.19Ba
	Z ₂	37.24 ± 8.47Aa	25.05 ± 4.00Aa	2.01 ± 0.26Aa
水分胁迫 Water deficit stress	W ₁	24.65 ± 1.97Cc	20.98 ± 1.21Cc	1.18 ± 0.13Bb
	W ₂	38.05 ± 4.82Bb	25.38 ± 0.89Bb	1.50 ± 0.21Aa
	W ₃	41.25 ± 2.77Aa	29.06 ± 0.99Aa	1.42 ± 0.08Aa

3 讨 论

3.1 不同水分胁迫和斜发沸石应用对花生地上部干重、根干重及根冠比的影响

为了说明不同水分胁迫和斜发沸石对花生地上部干物质、根干重及根冠比的影响,根据三者的方差分析(表 2)可知,花生地上部干重随着水分胁迫的增加而极显著降低,重度和中度水分胁迫下花生地上部干重分别为 28.03 ± 3.29 g 和 32.97 ± 0.89 g,分别比轻度水分胁迫花生地上部干重(36.88 ± 0.34 g)降低 24.00% 和 10.60%。斜发沸石的施入极显著提高花生地上部干重,提高幅度达 7.74%,说明斜发沸石能够缓解水分胁迫。同时,两者交互效应分析结果可知 W_3Z_1 、 W_3Z_2 和 W_2Z_2 三个处理花生地上部干重最佳,但考虑增加幅度,推选 W_2Z_2 为获取地上部干重最优处理。根系作为植物吸收水分和养

分的主要器官,也是最早感受土壤干旱的器官,根干重的大小侧面反映花生吸收水分和养分能力大小。由图 1 可知,水分胁迫显著降低花生根干重,相比轻度水分胁迫,重度水分胁迫花生根干重减少了 45.41%,差异显著,而中度水分胁迫减小了 14.59%,差异不显著。花生根干重在施加斜发沸石后增加了 5.91%,说明斜发沸石可能通过自身缓释肥及自身所含有特殊结构沸石水的释放,调节土壤水分胁迫以此减缓水分胁迫对花生根干重的影响。同时,根冠比受水分胁迫的影响规律与根干重相同,而施加斜发沸石对其无显著影响,可能后期复水刺激花生植株干旱补偿机制所致。综上所述,为实现花生节水高产的生产目标,需要获取适宜的地上部干重作为指标来预测最佳产量,由此推荐中度水分胁迫和施加斜发沸石处理组合获取最佳地上部干重、根干重及根冠比。

3.2 不同水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及产量性状的影响

为了说明不同水分胁迫和斜发沸石对花生产量的影响,根据花生产量的方差分析(表 4)和 DMRT 分析结果(表 5)可知,花生产量因施用斜发沸石而增加,且施加斜发沸石比不施加斜发沸石花生产量提高 11.52%。随着水分胁迫程度不断减轻,花生产量不断提高;轻度水分胁迫相比重度、中度水分胁迫花生产量提高 39.71% 和 7.69%。随着斜发沸石的施用,极大缓解水分胁迫对花生的减产效应,由图 4 可知,斜发沸石的应用提高花生水分胁迫条件下的产量,且中度水分胁迫花生产量增加了 25.65%,达到增产幅度最大值,而轻度水分胁迫花生增产最少,仅提高 10.38%,该结果同陈涛涛^[16]研究基于斜发沸石水氮耦合对水稻产量影响结论一致。另外,作为与花生产量极相关的籽仁重,随着水分胁迫程度的增大而减少,相比轻度水分胁迫,重度和中度水分胁迫花生籽仁重分别降低了 43.27% 和 12.53%,由此减轻水分胁迫对花生籽仁重的损失效应是提高花生产量的关键。斜发沸石的施用显著提高了花生籽仁量,其值达 6.77%;其次为饱果率和出仁率,分别提高了 8.11%、2.89%。因此,花生生产中施加斜发沸石能够缓解水分胁迫对花生产量带来的影响。同时,水分胁迫和斜发沸石交互效应分析表明, W_2Z_2 处理能够获得最佳花生产量,且该条件下花生增产幅度最大,考虑产量构成因素同样推荐 W_2Z_2 处理获得最佳产量构成。研究表明,沸石能够作为土壤水分控制器缓慢释放和吸收水分子,以此来防止根病变和缓解干旱周期^[12],改善作物受到水分胁

迫时生长状况,降低水分胁迫对产量的减少。陈涛涛等研究施用斜发沸石水氮耦合效应对水稻产量影响得出,斜发沸石结合能量调控灌溉能够从本质上缓解氮肥流失,提高土壤截留释水能力,最终提高水稻产量^[16]。周宝库研究发现沸石与化肥混施,在等量的化肥中,施加沸石比不施加沸石,能使玉米、水稻、大豆的产量分别提高 7.1%~11.8%、8.6%~11.4%、6.5%~12.8%^[17]。Kavoosi 研究得出水稻生产中施用 10 t·hm⁻²斜发沸石能显著增加水稻产量^[20]。综上所述,中度水分胁迫和斜发沸石施用能够极大缓解水分胁迫对花生带来的减产效应,获得最佳产量及产量构成。

3.3 不同土壤水分胁迫和斜发沸石应用对花生灌水量及水分利用效率的影响

不同水分胁迫和斜发沸石对花生全生育期灌水量及水分利用效率的影响不同。由表 8 可知,花生全生育灌水量仅受水分胁迫的显著影响,且由表 9 可知水分胁迫愈大,花生全生育期灌水量愈少,灌水量减少幅度最大可达 27.80%;而斜发沸石对花生全生育期灌水量影响较小。虽然全生育期灌水量是花生生产栽培中人们所关注的一个直接关联节水目标的重要指标,但是水分利用效率更能反映花生节水增产生产目标实现的关键指标。由方差分析(表 8)和显著性检验(表 9)可知,中度水分胁迫花生水分利用效率均最高,其值分别为 1.50±0.21 g·L⁻¹,其次为轻度水分胁迫(1.42±0.08 g·L⁻¹),最低为重度水分胁迫(1.18±0.13 g·L⁻¹);施用斜发沸石处理,花生水分利用效率为 2.01±0.26 g·L⁻¹,提高了 36.49%,说明斜发沸石的施用可以弥补水分胁迫对花生带来的影响。水分胁迫和斜发沸石交互效应对花生水分利用效率影响虽然不显著,但从数值上 W₂Z₂ 处理花生水分利用效率最大,其值为 1.68±0.09 g·L⁻¹,说明中度水分胁迫下,斜发沸石的补偿效应发挥最佳;轻度水分胁迫下斜发沸石的应用降低花生对水分利用效率,原因可能由于斜发沸石的施用改善花生生长环境,借其较强的阳离子交换能力为花生提供生长所需的营养物质,导致其奢侈蒸腾较强,降低水分利用的效率。作物生产中,评估其水分生产效率已经量化为作物实际产量和水分消耗的比值^[21],水分胁迫对花生生产量和耗水量的影响均极显著,水分胁迫程度愈大花生减产愈严重,消耗水量愈少,但水分利用效率并不一定与其呈正相关,只有适度水分胁迫才能够调节使花生对水分利用效率最大化;斜发沸石施入土壤能够促进土壤机构合理化,

改善土壤物理性质,益于固氮微生物和豆科植物固氮菌的固氮作用发挥正效应^[22],另外,斜发沸石自身所含有少量自由结构水分子,随着外界环境变化能够自由释放和吸附,由此中度水分胁迫和斜发沸石的应用花生对土壤中水分的利用效率最高。

由于本试验是在滑动遮雨棚下进行的盆栽试验,不可避免地忽略气象条件及花生生长环境局限性对试验结果的影响,笔者正在对其进行测坑和大田相关系统试验研究以排除其他因素影响;另外本文中的试验结果由一年盆栽试验数据分析所得,尚需进行进一步试验。

4 结 论

需水关键期不同水分胁迫显著降低花生生产量,而土壤中施用斜发沸石能够减缓该时期干旱对花生生产量的负面影响,且中度水分胁迫条件下施入斜发沸石花生增产 25.65%,增产潜力最大;另外,斜发沸石的施用,能够减少花生生长时期无效水损失,提高花生对水分的利用效率,且中度水分胁迫和斜发沸石应用花生的水分利用效率数值上最高,其值为 1.68±0.09 g·L⁻¹。由此推荐中度水分胁迫和施用斜发沸石作为实现花生节水增产目标的最优组合。

参 考 文 献:

[1] 苗锦山,王铭伦.水分胁迫对花生生长发育影响的研究进展[J].花生学报,2003,32(增刊):368-371.

[2] 张俊,刘娟,臧秀旺,等.不同生育时期干旱胁迫对花生生产量及代谢调节的影响[J].核农学报,2015,29(6):1190-1197.

[3] Bhavanath Jha, Avinash Mishra, Amit Kumar Chaturvedi. Enginner stress tolerance in peanut (*Arachishypogaea* L)[J]. Genetically Modified Organisms in Food, 2016,27:305-311.

[4] 张俊,刘娟,臧秀旺,等.不同生育时期水分胁迫对花生生长发育和产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(24):93-98.

[5] Aninbon, Jogloy, Vorasoot, et al. Effect of end of season water deficit on phenolic compounds in peanut genotypes with different levels of resistance to drought[J]. Food Chemistry, 2016,196:123-129.

[6] 王瑾,李玉荣,张嘉楠,等.中国花生主栽品种抗旱性鉴定及其遗传多样性分析[J].中国农业科技导报,2015,17(1):57-64.

[7] 姜慧芳,任小平.干旱胁迫对花生叶片 SOD 活性和蛋白质的影响[J].作物学报,2004,30(2):169-174.

[8] 丁红,张智猛,戴良香,等.干旱胁迫对花生生育后期根系生长特征的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(12):1477-1483.

[9] Reza Nozari, Hamid Reza Tohidi Moghadam, Hossein Zahedi. Effect of cattle manure and zeolite applications on physiological and biochemical changes in soybean (*Glycine max* L. Merr.) grown under water deficit stress[J]. Revista Cientifica UDO Agrícola, 2013,13(1):85-92.

- 长角突变体分析[J]. 生命科学杂志, 2016, 20(5): 435-441.
- [5] 薛远超, 李加纳, 刘列钊, 等. 甘蓝型油菜 EMS 诱变材料的耐湿性鉴定与筛选[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(4): 76-80.
- [6] 陈洁, 张学昆, 湛利, 等. 甘蓝型油菜耐湿种质资源的快速筛选[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(2): 138-143.
- [7] 黄永娟, 张凤启, 杨甜甜, 等. EMS 诱变甘蓝型油菜获得高油酸突变体[J]. 分子植物育种, 2011, 9(5): 611-616.
- [8] 张宏军, 肖钢, 谭太龙, 等. EMS 处理甘蓝型油菜 (*Brassica napus*) 获得高油酸材料[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4016-4022.
- [9] Hans - Joachim Harloff, Susanne Lemcke, Juliane Mittasch, et al. A mutation screening platform for rapeseed (*Brassica napus* L.) and the detection of sinapine biosynthesis mutants[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2012, 124(5): 957-969.
- [10] 吴建国, 石春海, 张海珍, 等. 应用近红外反射光谱法整粒测定小样品油菜籽含量的研究[J]. 作物学报, 2002, 28(3): 421-425.
- [11] 倪永静, 朱培培, 刘红杰, 等. EMS 诱导国麦 301 小麦突变体库的建立与鉴定[J]. 河南农业科学, 2015, 44(4): 42-45.
- [12] 吴秀红. EMS 对不同大豆品种 M₂ 代农艺性状的影响[J]. 农学报, 2012, 2(5): 29-31.
- [13] 李海军, 池书敏, 刘志增, 等. 利用 EMS 化学诱变改造玉米自交系的研究[J]. 玉米科学, 2002, 10(3): 36-37.
- [14] 王峰, 徐飏, 杨正林, 等. EMS 诱变水稻矮生资源的鉴定评价[J]. 核农学报, 2011, 25(2): 0197-0201.
- [15] 杜连恩, 于秀普, 魏玉昌. EMS 处理小麦合子诱变筛选高蛋白突变体[J]. 河北农业大学学报, 1990, 13(4): 94-96.
- [16] 殷冬梅, 杨秋云, 杨海棠, 等. 花生突变体的 EMS 诱变及分子检测[J]. 中国农学通报, 2009, 25(5): 53-56.
- [17] 王传堂, 王秀贞, 唐月异, 等. EMS 直接注入花生花器创制高产突变体[J]. 核农学报, 2010, 24(2): 239-242.
- [18] 唐月异, 王秀贞, 吴琪, 等. EMS 诱变选育花生新品种 - 花育 40 号[J]. 核农学报, 2014, 28(6): 0967-0969.
- [19] 和江明, 王敏乔, 陈薇, 等. 用 EMS 诱变和小孢子快速获得甘蓝型油菜高油酸种质材料的研究[J]. 西南农业学报, 2003, 16(2): 34-36.
- [20] 李浩杰, 蒲晓斌, 张锦芳, 等. 甘蓝型油菜 EMS 诱变后代农艺性状观察及分子检测[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 0245-0249.
- [21] 杜园园, 刘永忠, 李万星, 等. 大豆 EMS 化学诱变处理条件分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35): 16995-16996.
- [22] 祝丽英, 池书敏, 刘志增, 等. 甲基磺酸乙酯 (EMS) 在创造玉米新种质中的应用[J]. 玉米科学, 2001, 9(3): 14-17.
- [23] 陈邵江, 宋同明. EMS 花粉诱变获得高油玉米突变体[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(3): 12-13.
- [24] 王军, 杨慧卿, 袁峰, 等. EMS 诱变谷子“长农 35 号”M₁ 代成熟期株型突变体的鉴定与分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 84-89.
- [25] 张纪元, 张平平, 姚金保, 等. 以 EMS 诱变创制软质小麦宁麦 9 号高分子量谷蛋白亚基突变体[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1579-1584.
- [26] 李伟, 智慧, 王永芳, 等. 谷子 EMS 诱变的处理条件分析[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 77-79.
- [27] 顾佳清, 张智奇, 周音, 等. EMS 诱导水稻“中花 11”突变体的筛选和鉴定[J]. 上海农业学报, 2005, 21(1): 7-11.

(上接第 139 页)

- [10] 魏江生,山本太平,董 智,等.在旱区农业开发中对人工沸石作用的探讨[J].干旱区资源与环境,2005,19(3):151-152.
- [11] 曹晓燕.天然沸石在土地整理中的应用[J].国土资源,2002,(6):35.
- [12] Xiubin H, Zhanbin H. Zeolite application for enhancing infiltration and retention in loess soil[J]. Resource, Conservation and Recycling, 2001,34(3):45-52.
- [13] Zahedi H, H. R. Tohidi Moghadam. Effect of drought stress on antioxidant enzymes activities with zeolite and selenium application in canola cultivars[J]. Research on Crops, 2011,12(2):388-392.
- [14] Majid Gholamhoseini, Amir Ghalavand, Aydin Khodaei - Joghani. Zeolite - a mended cattle manure effects on sunfloweryield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching[J]. Soil & Tillage Research, 2013,(126):193-202.
- [15] He Z L. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil[J]. Plant and Soil, 2002,247(6):253-260.
- [16] 陈涛涛,吴 奇,郑俊林,等.基于斜发沸石的水氮耦合效应对水稻产量影响研究[J].灌溉排水学报,2014,(Z1):71-76.
- [17] 周宝库.天然沸石农业利用研究[J].黑龙江农业科学,1998,(2):6-7.
- [18] Kavosi M. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2007,38(2):69-76.
- [19] Hsiao T C, Steduto P, Fereres E. Gas exchange rates at different vapor pressure deficits and water relations of 'Pera' sweet orange plants with citrus variegated chlorosis (CVC)[J]. Horticulture, 2003,98, 233-245.
- [20] Andronikashvili T G, Urushadze T F, Eprikashvili L G, et al. Use of natural zeolite in plant growing - Transition to Biological Agriculture [J]. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2007, 175(4):112-117.