

# 土壤水分胁迫对花生籽仁矿质元素含量的影响

戴良香<sup>1</sup>, 宋文武<sup>1</sup>, 丁红<sup>1</sup>, 万书波<sup>2</sup>, 孙奎香<sup>1</sup>, 赵德莲<sup>3</sup>, 张智猛<sup>1\*</sup>

1. 山东省花生研究所, 山东 青岛 266100; 2. 山东省农业科学院, 山东 济南 250100; 3. 山东省招远市梦芝办事处, 山东 招远 265400

**摘要:** 选用我国北方地区近年来选育或推广应用的 29 个花生品种(系), 采用全生育期内人工控水盆栽试验, 设置正常供水(控制整个生育期土壤含水量为田间持水量的 75%~80%)和中度干旱胁迫(控制土壤含水量为田间持水量的 45%~50%) 2 个水分处理。收获后分析籽仁中铁、锌、锰、铝、镉等微量元素和钙、镁、钾、磷、氮等主要矿物质元素含量。结果表明, 花生籽仁中铅、铬含量极低, 未能检测出; 品种间各微量和其他矿质元素含量均存在明显差异, 微量元素中, 铝平均含量最高, 锰含量最低, 铁和锌含量居中。干旱使花生籽仁中除铝之外的铁、锌、镉、锰微量元素含量显著增加, 尤其是铁, 其含量是浇水条件下的 2.9 倍, 其次是镉, 为浇水条件下的 2.4 倍, 锌也达 1.6 倍; 但干旱使籽仁中钙、镁含量降低, 氮、磷、钾 3 元素的变化不大, 两处理间差异不明显; 两处理中除锌元素外其余矿质元素含量间的相关系数间均呈显著或极显著相关关系, 镁、锰和镉三元素间的相关系数最大, 均在 0.95 以上, 钙次之, 磷最小。表明土壤干旱可提高花生籽仁中铁、锌、镉、锰微量元素含量, 且微量矿质元素协同效应明显; 土壤湿润降低花生籽仁中磷、钾元素与其他矿质元素间的相关关系。  
**关键词:** 花生(*Arachis hypogaea* L.); 土壤水分胁迫; 矿质元素含量

中图分类号: S565.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906(2011)05-0869-06

花生属于抗旱耐瘠作物, 我国花生的播种面积、产量和贸易量均居世界首位, 除榨油外, 食用是我国花生的重要消费途径, 且随着居民生活观念和消费水平的提高, 花生食用的比例愈来愈大。花生种子中除含有丰富的蛋白质、脂肪、必需氨基酸外, 还含有不饱和脂肪酸、多酚、植物固醇、白藜芦醇、异黄酮、抗氧化剂等生理活性物质和多种矿质元素, 具有重要的保健作用。众所周知, 微量元素是人体生长发育和健康长寿的重要保障, 微量元素的保健功效越来越得到人们的重视<sup>[1]</sup>。增加作物中的微量元素含量并通过食用富含矿物质元素的食物来解决人体矿物元素缺乏是最经济有效的方法<sup>[2-3]</sup>。目前, 关于干旱影响矿质元素吸收分布方面的直接研究较少, 也无明确的结论, 且大多注重植物叶片、茎或根等不同部位或营养器官中矿质元素含量的研究<sup>[4-6]</sup>, 土壤水分胁迫对花生叶片或幼苗等营养生理、养分吸收、不同产量水平矿质元素累积、品种和地域环境条件下的营养品质状况等进行了研究<sup>[7-9]</sup>。但关于土壤水分状况对花生籽仁矿质元素含量的影响鲜见报道。

我国花生种植面积的 70%分布在干旱半干旱地区的瘠薄地上, 土壤保水力弱, 干旱频繁。因此, 了解干旱胁迫对不同花生品种籽仁矿质营养元素含量的影响, 对花生品种抗旱性评价和在遭遇干旱后采取积极的技术对策有重要的意义。本研究以我

国北方地区近年来选育、推广的花生品种为试材, 研究长期土壤干旱胁迫对籽仁中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cd、Mn、Al 等 10 中矿质元素含量的影响, 了解干旱胁迫对花生籽仁矿质养分影响作用的大小, 通过对不同土壤水分条件下花生矿质元素含量差异的研究, 揭示花生在不同土壤水分条件下的营养生理机制。探讨通过适度干旱处理在不损伤植株的前提下增加花生籽仁微量元素 Fe、Zn、Cu、Mn 含量的可能性, 为花生区域种植、品种布局、高效优质栽培、人体健康及营养补充提供理论依据。

## 1 材料方法

### 1.1 供试材料

供试花生品种(系) 29 个, 主要系我国北方花生生产区近年来大面积生产应用或近年选育的新品种。分别为 G2、鲁花 14 号、丰花 1 号、冀花 2 号、冀花 4 号、丰花 6 号、花育 22 号、TE-2、大唐油、阜花 11 号、花育 24 号、阜花 10 号、唐油 4 号、花育 20 号、花育 23 号、花育 25 号、花育 21 号、潍花 8 号、鲁花 11 号、花育 16 号、花育 19 号、唐科 8 号、阜花 13 号、花育 17 号、花育 27 号、潍花 6 号、M5、花育 31 号、M7。

### 1.2 试验方法

试验在青岛市农业科学院防雨大棚内进行。盆栽所用塑料盆高 45 cm, 内径 40 cm, 每盆装风干

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD21B04-9, 2009BADA8B03), 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-14)

作者简介: 戴良香(1965年生), 女, 研究员, 主要从事植物营养生理研究。

\*通信作者: 张智猛, 研究员, 从事植物生理生态研究。

收稿日期: 2011-04-20

土 25 kg。土壤吸湿水含量 5.12%，土壤容重 1.13 g·cm<sup>-3</sup>，田间持水量 25.86%。土壤 pH 值为 7.6，土壤有机质含量 16.7 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 1.81 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)0.81 g·kg<sup>-1</sup>、全钾(K<sub>2</sub>O)10.53 g·kg<sup>-1</sup>、水解 N 89.3 mg·kg<sup>-1</sup>、速效 P(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)49.6 mg·kg<sup>-1</sup>、速效 K(K<sub>2</sub>O)93.6 mg·kg<sup>-1</sup>。

采用隔日称重法严格控制各处理水量恒定(忽略不同钵间生物量变化)。水分胁迫程度所反映的土壤含水量占土壤最大持水量的百分数按 Hsiao 和黎裕的标准划分<sup>[10-11]</sup>。设置正常供水(整个生育期控制土壤含水量为田间持水量的 75%~80%)和中度干旱胁迫(控制土壤含水量为田间持水量的 45%~50%) 2 个水分处理。随机排列, 4 次重复。每盆施 500 g 优质农家肥和 1.20 g 三料复合肥(15-15-15)作基肥, 称重法浇足底墒水至田间持水量的 85%~90%, 自然渗透蒸发 3 天后单粒播种, 每盆播种大小、饱满度一致的种子 10 粒, 视出苗情况每盆定苗 3 株。

干旱胁迫处理从幼苗出土开始控水, 连续控水至成熟期。中度干旱胁迫处理的植株中午有 50% 出现萎蔫时进行浇水至要求的含水量, 正常供水处理则一直保持土壤含水量为田间持水量的 75%~80%。5 月 13 日播种, 9 月 22 日收获。以钵为单位收获, 记录每盆和单株产量。各处理花生籽仁样品风干后备用。

### 1.3 分析测定方法

分析样品用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 湿灰化联合消煮法, N 的测定采用凯氏定氮法、P 用钒钼黄比色法。K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等元素采用 Optima 5300DV 全谱直读等离子体发射光谱仪(美国铂金埃尔默公司), 工作条件: 冷却气流量 15 L·min<sup>-1</sup>; 辅助气流量 0.2 L·min<sup>-1</sup>; 雾化气流量 0.8 L·min<sup>-1</sup>; 功率 1500

W; 蠕动泵流速 1.5 mL·min<sup>-1</sup>。Pb、Cd 的测定采用 AA600 石墨炉原子吸收光度计(美国铂金埃尔默公司)。

试剂均为分析纯或光谱纯, 实验用水均为重蒸水。

## 2 结果分析

### 2.1 主要矿质元素含量

对样品中 Pb 和 Cd 的检测表明, Pb 在 283.3 nm、Cr 在 228.8 nm 的发射谱线工作条件下, Pb 浓度低于 1.0 ng·mL<sup>-1</sup> 的检测浓度, Cd 的质量浓度也在 2.0 ng·mL<sup>-1</sup> 以下。故认为花生籽仁中重金属 Pb 和 Cd 的含量极低, 无 Pb 和 Cd 重金属污染, 符合食品安全标准。

将各花生品种(系)的矿物质元素含量基本统计分析结果列于表 1, 可以看出, 干旱与充足供水条件下, 品种间各微量和其他矿质元素含量均存在明显差异。微量元素中, 铝平均含量最高, 两处理分别为 154.001 mg·kg<sup>-1</sup>、104.776 mg·kg<sup>-1</sup>; 锰含量最低, 分别为 4.454 mg·kg<sup>-1</sup> 和 5.627 mg·kg<sup>-1</sup>; 铁和锌含量居中, 分别为 36.134 mg·kg<sup>-1</sup> 和 104.262 mg·kg<sup>-1</sup>、23.587 mg·kg<sup>-1</sup> 和 38.453 mg·kg<sup>-1</sup>。干旱使花生籽仁中除铝之外的铁、锌、镉、锰微量元素含量显著增加, 尤其是铁, 其含量是浇水条件下的 2.9 倍, 其次是镉, 为浇水条件下的 2.4 倍, 锌也达 1.6 倍; 但干旱使籽仁中钙、镁含量降低, 氮、磷、钾 3 元素的变化不大, 两处理间差异不明显。其中与人体健康密切相关的铁和锌元素含量, 在干旱和浇水条件下的最高值分别是各自最低值的 5.83 和 7.39 倍、22.04 和 5.54 倍。常量元素中, 钾平均含量最高, 干旱和浇水条件下分别为 73.08 mg·kg<sup>-1</sup> 和 71.97 mg·kg<sup>-1</sup>; 镁平均含量最低, 分别为 0.718 mg·kg<sup>-1</sup> 和 0.824 mg·kg<sup>-1</sup>; 氮、磷和钙含量居中。由此表示, 适

表 1 土壤水分对花生籽仁中主要矿质元素含量的基本统计量影响

Table 1 The affect of soil water content on the content of mainly mineral elements in peanut seed kernels

矿质元素	变幅		平均值		标准差		变异系数%	
	浇水	干旱	浇水	干旱	浇水	干旱	浇水	干旱
w(Al)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	286.044 ~ 85.994	332.997 ~ 53.360	154.001	104.776	44.339	54.796	28.79	52.30
w(Fe)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	148.735 ~ 6.747	284.134 ~ 48.774	36.134	104.262	30.250	44.970	83.72	43.84
w(Zn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	46.438 ~ 8.386	132.234 ~ 17.888	23.587	38.453	11.815	20.939	50.09	54.45
w(Cd)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	14.484 ~ 1.410	23.819 ~ 4.522	4.669	10.979	4.081	5.617	87.40	51.16
w(Mn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	10.808 ~ 0.190	15.886 ~ 1.066	4.454	5.627	3.538	4.115	79.43	73.12
w(K)/(g·kg <sup>-1</sup> )	114.810 ~ 26.280	121.750 ~ 48.370	71.970	73.080	1.619	1.494	22.49	20.44
w(N)/(g·kg <sup>-1</sup> )	51.850 ~ 30.710	54.830 ~ 29.550	39.290	39.150	0.517	0.581	13.15	14.83
w(P)/(g·kg <sup>-1</sup> )	23.900 ~ 16.770	33.890 ~ 8.230	20.390	24.070	0.179	0.446	8.78	18.53
w(Ca)/(g·kg <sup>-1</sup> )	5.7310 ~ 1.9390	6.346 ~ 1.089	3.504	2.717	0.971	1.110	27.70	40.84
w(Mg)/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.597 ~ 0.376	1.427 ~ 0.340	0.824	0.718	0.395	0.395	47.95	55.04

度的干旱处理可显著增加花生籽仁中铁、锌、锰微量营养元素含量,降低其钙、镁含量。但值得注意的是,干旱胁迫条件在增加花生籽仁中铁、锌、锰微量营养元素含量的同时,也显著增加了有害元素镉的含量,但显著降低了铝的含量,这与谭晓荣等适当的干旱胁迫可促进小麦吸收 Cu、Mn 等微量元素的研究结果一致。说明花生对矿质营养元素的吸收积累主要是通过渗透调节、根冠生长等一系列生理生化机制来提高其抗旱性及其对干旱的适应性,从而在一定程度上消除干旱对产量的影响。

干旱条件下,锰、锌、铝和镉四种微量元素和中量元素镁含量的变异系数较大,均在 50%以上,其次是铁和钙含量的变异系数,分别为 43.84%、40.84%,氮、磷、钾含量的变异系数均相对较小;充分供水条件放大了铁、镉、锰 3 种微量矿质元素积累的变异系数,降低了铝、锌、钙和镁含量的变异系数。供水条件下微量元素镉和铁含量的变异系数最大,在 80%以上,锰含量的变异系数在 79.43%,锌和镁含量的变异系数分别为 50.09%、47.95%。花生品种间对微量元素锰的吸收积累差异性最大,干旱和浇水处理的最高值分别是各自最低值的 56.88 和 14.9 倍。常量元素氮、磷、钾变异系数较小。由此说明,中国北方花生种植区主要品种主要矿物质元素含量变异范围广,通过育种途径提高其含量的潜力大。

## 2.2 矿质元素间的相关关系分析

由表 2 可以看出,干旱胁迫与土壤水分适宜条件下,花生籽仁中矿质元素含量除锌外,其余元素两处理间均呈显著或极显著相关关系,其中,镁、锰和镉三元素在干旱与湿润条件下的相关系数最大,均在 0.95 以上,钙次之,两处理间相关系数为 0.8146;干旱胁迫和供水处理的籽仁中磷含量的相关系数最小,仅为 0.431。说明同一品种对相同矿质元素的吸收积累特性并不因环境条件的改变而发生变化,而是由自身遗传特性所决定的。土壤水分状况对花生籽仁中锌的吸收积累影响较大,然而,锌又是重要的营养微量元素,因此,在花生水分调控中,应注重微量元素营养的吸收累积,尤其注重那些对人体健康有重要作用的矿质元素的吸收积累。有关干旱胁迫对花生籽仁锌营养的累积需进一步研究。

## 2.3 矿物质元素含量相关分析

将不同土壤水分条件下,花生籽仁各矿物质元素含量间相关性分析结果列于表 3。从表 3 可看出,干旱胁迫条件下,花生籽粒中大量元素氮、磷、钾含量与其他元素含量间的相关系数较小,而铁和锌元素含量与其他微量元素含量间的相关系数较高。籽仁中大量元素氮的含量与所有矿质元素含量间均呈负相关关系,氮与钙、镁间相关关系达极显著水平,与镉、锌、锰间为显著水平,与铝、铁、钾、磷间无相关关系;磷仅与钾、钙、镁、镉、锰间表现显著的相关关系,而与铝、铁、锌等元素间无明显相关关系;钙、镉和镁的含量与所有元素均达显著或极显著相关关系。

在浇水条件下,花生籽仁中各矿质元素含量间的关系与干旱胁迫条件下相似。大量元素氮、磷、钾含量与其他元素含量间的相关系数仍较小,铁和锌元素含量与其他微量元素含量间的相关系数仍表现较高。大量元素氮的含量与所有矿质元素含量间均呈负相关关系,只是相互间的显著程度有所差别;水分供应条件下,氮除与铝、磷无相关关系外,与其余元素间均表现显著或极显著相关关系;磷与其他矿质元素含量间的相关系数最小,且其含量除与镉含量有显著关系外,与其他元素含量间均无显著关系。由此可知,花生各微量及常量矿物质元素含量间存在一定的相关性和依存关系。

## 3 讨论

### 3.1 花生籽仁重金属元素含量与安全生产

微量元素或矿质元素从土壤—植物—可食部分的吸收积累,须首先克服土—根界面(作物根际)的障碍,扩大作物根系与土壤的接触面积,使足够量的而不是中毒量的微量元素进入到作物根系组织,需要通过根系对养分元素的主动吸收或被动吸收的方式,使得矿质元素进入根系细胞,进入根系的微量元素能够转移到植物的可食部分(如籽粒或种子),而且这些积累的微量元素可以被人食用后具有高度的生物有效性<sup>[11、12、13、14]</sup>。但到目前为止,对这些知识掌握得非常有限,尤其对作物体中微量元素营养效率的生理基础以及控制植株可食部分微量元素的积累过程均不十分清楚。

本试验结果可以看出,花生籽仁中铅、铬两种重金属元素质量分数在  $2.0 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 均低于仪器检

表 2 干旱与浇水处理间各矿质元素含量相关系数

Table 2 The correlation coefficient between every mineral element under drought and water supply treatments

元素	Al	Ca	Cd	Fe	K	Mg	Zn	Mn	N	P
相关系数	0.7408**	0.8146**	0.9528**	0.6483**	0.5786**	0.9673**	-0.0703	0.9541**	0.7779**	0.4310*

\*\*、\*\*\*分别代表 0.05 和 0.01 显著性水平。 $n=30$ ,  $R_{0.01}=0.449$ ,  $R_{0.05}=0.349$

表 3 干旱与浇水条件下各元素间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between every mineral element under drought and water supply treatments

处理	元素	Al	Ca	Cd	Fe	K	Mg	Zn	Mn	N	P
干旱	Al	1.0000									
	Ca	0.8800**	1.0000								
	Cd	0.6991**	0.8333**	1.0000							
	Fe	0.8681**	0.7673**	0.6515**	1.0000						
	K	0.4256*	0.6538**	0.4866**	0.3138	1.0000					
	Mg	0.6282**	0.7229**	0.7624**	0.5797**	0.4021*	1.0000				
	Zn	0.8908**	0.8675**	0.7260**	0.8631**	0.4005*	0.7348**	1.0000			
	Mn	0.7539**	0.7997**	0.7730**	0.6971**	0.4433*	0.9653**	0.8225**	1.0000		
	N	-0.3432	-0.4546**	-0.4403*	-0.3041	-0.2359	-0.4546**	-0.3646*	-0.4117*	1.0000	
	P	0.2999	0.4073*	0.3570*	0.1625	0.3657*	0.3786*	0.2914	0.4242*	-0.1702	1.0000
浇水	Al	1.0000									
	Ca	0.5223**	1.0000								
	Cd	0.3012	0.4700**	1.0000							
	Fe	0.4988**	0.6964**	0.6116**	1.0000						
	K	0.1842	0.6984**	0.5060**	0.4551**	1.0000					
	Mg	0.3742*	0.6917**	0.8390**	0.6609**	0.6267**	1.0000				
	Zn	0.5306**	0.7763**	0.7154**	0.7966**	0.5549**	0.9135**	1.0000			
	Mn	0.4270*	0.7422**	0.8150**	0.7770**	0.6325*8	0.9496**	0.9252**	1.0000		
	N	-0.0727	-0.5501**	-0.4739**	-0.3597*	-0.4094*	-0.5574**	-0.5006**	-0.5336**	1.0000	
	P	0.2437	0.2838	-0.3824*	-0.0157	0.0799	-0.1004	-0.0260	-0.0358	-0.0528	1.0000

“\*”、“\*\*”分别代表 0.05 和 0.01 显著性水平。n=30,  $R_{0.01}=0.449$ ,  $R_{0.05}=0.349$

测限；花生籽仁中质量分数最高的是矿质元素铝，干旱和水分适宜条件下的平均值分别为 104.776 mg·kg<sup>-1</sup>、154.001 mg·kg<sup>-1</sup>；两处理镉质量分数的平均值分别为 10.979 mg·kg<sup>-1</sup> 和 4.669 mg·kg<sup>-1</sup>。依据 GB13106-91 和 GB2762-2005 国家食品卫生标准，花生或豆类中标准限值分别为 Cd≤0.05 mg·kg<sup>-1</sup>，Pb≤0.2 mg·kg<sup>-1</sup>，Cr≤1.0 mg·kg<sup>-1</sup>，Al≤100 mg·kg<sup>-1</sup>，Zn≤50 mg·kg<sup>-1</sup>。可见，我国北方地区花生籽仁中镉、铝均超过食品要求的标准限值，应予以重视，超标原因需进一步研究探讨。

### 3.2 土壤干旱与花生籽仁中元素含量

研究表明，当植物处于不同的环境下，植物体对周围环境中营养的吸收和分配也将发生一系列的变化。关于土壤干旱影响植物矿质元素吸收分布方面的直接研究较少，结论不尽一致。但多数研究结果认为，在干旱条件下植物体内的金属元素含量下降，少数报道显示金属元素含量上升<sup>[3, 5-6, 15-16]</sup>，而且，含量升高或降低的元素类型也有分歧。张凯、王月福等研究认为，干旱胁迫减少小麦、玉米、苹果、烤烟、澳洲坚果、互叶白千层等叶片对 N、P、K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe、B、Mo 等元素的吸收量，含量降低<sup>[3, 5-6, 15-22]</sup>；植株吸收的 N、P 元素较多地分配到根系中<sup>[23]</sup>；烤烟植株体内的 P、K、Ca、Mg、Fe、Mn 含量减少<sup>[3, 24]</sup>。而程瑞平、刘国琴等研究认为，干旱胁迫使苹果、澳洲坚果叶片中

B、K、Fe、Mn、Ca、Mg 营养元素含量增加，而对 P 元素的含量影响不大<sup>[3, 5, 16]</sup>。马文涛等研究显示，干旱使甜橙、红橘和柚叶中 Fe、Cu、B 含量下降，红橘和柚叶中的 Zn 含量显著降低，甜橙叶中的 Zn 含量极显著地增加<sup>[25]</sup>；张凯等则认为，缺水使小麦籽粒中 Zn、Cu 含量低，Fe、Mn 含量高<sup>[17]</sup>；Lockett 等报道一些野生水果中的微量元素含量在旱季高于雨季<sup>[26]</sup>。可见，干旱胁迫对营养元素质量浓度的影响在不同植物类型、不同基因型间存在较大差异。

本研究结果表明，干旱胁迫显著提高了花生籽仁中 Fe、Zn、Mn 微量营养元素和有害元素 Cd 含量，降低了 Ca、Mg 营养元素和有害元素 Al 的含量，N、P、K 三元素含量变化不大。同时，干旱胁迫对营养元素含量的影响在不同花生品种间存在较大差异，这是不同品种对干旱胁迫适应性差异的表现，也是花生品种抗旱遗传鉴定选的基础，在选育花生品种时要注意矿质元素含量指标。因此，植物营养遗传学还应结合营养遗传和养分吸收等相关研究，跟踪人体对矿质微量元素的吸收和消化机制，探索提高花生籽仁微量元素生物有效性的新突破口。同时，在花生种植区划管理中，重视区域土壤水分环境与花生营养元素吸收累积的关系，优选高产抗旱品种的同时，还应重视品种营养元素的吸收累积作用，达到高产、高效、高养分效率、安全

生产的目的。

#### 4 结论

花生品种间各微量和其他矿质元素含量均存在明显差异,微量元素中,铝平均含量最高,锰含量最低,铁和锌含量居中。干旱使花生籽仁中除铝之外的铁、锌、镉、锰微量元素含量显著增加,尤其是铁,其含量是浇水条件下的2.9倍,其次是镉,为浇水条件下的2.4倍,锌1.6倍;但干旱使籽仁中钙、镁含量降低,氮、磷、钾3元素的变化不大;土壤干旱可提高花生籽仁中铁、锌、镉、锰微量元素含量,且微量矿质元素协同效应明显;土壤湿润降低花生籽仁中磷、钾元素与其他矿质元素间的相关关系。花生籽仁中铅、铬含量极低,本试验条件下未能检测出。

#### 参考文献:

- [1] 芮玉奎,申琳,生吉萍. 冬枣果实中微量元素和重金属含量研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008(8): 1928-1930.  
RUI Yu-kui, SHEN Lin, SHENG Ji-ping. Content of Trace Elements and Heavy Metals in Chinese Winter Jujube Fruit[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008(8): 1928-1930.
- [2] 张勇,王德森,张艳,等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9):1871-1876.  
ZHANG Yong, WANG De-sen, ZHANG Yan, et al. Variation of Major Mineral Elements Concentration and Their Relationships in Grain of Chinese Wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9):1871-1876.
- [3] 杨莉琳,刘小京,徐进,等. 小麦籽粒微量元素含量的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(6): 1113-1117.  
YANG Li-lin, LIU Xiao-jing, Xu Jin, et al. Progress in Research of Micronutrients Content in Wheat Grain[J]. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(6):1113-1117.
- [4] 程瑞平,束怀瑞,顾曼如. 水分胁迫对苹果树生长和叶中矿质元素含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(1): 32-34.  
CHENG Rui-Ping; SHU Huai-Rui; GU Man-Ru. Effect of Water Stress on Plant Growth and Mineral Contents in Leaves of Apple Tree[J]. Plant Physiology Communications, 1992, 28(1): 32-34.
- [5] 刘国琴,何嵩涛,樊卫国,等. 土壤干旱胁迫对刺梨叶片矿质营养元素含量的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(2): 96-98.  
LIU Guo-qin; HE Song-tao; FAN Wei-guo, et al. Effect of Soil Drought Stress on Mineral Nutrient Contents in Rosa roxburghii [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(2): 96-98.
- [6] 刘建福,倪书邦,贺熙勇,等. 水分胁迫对澳洲坚果叶片矿质元素含量的影响[J]. 热带农业科技 2004, 27(1): 1-3.  
LIU Jian-fu, NI Shu-bang, HE Xu-yong, et al. Effect of Moisture Stress on Mineral Content in the Macadamia Leaf [J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2004, 27(1): 1-3.
- [7] 薛慧勤,孙兰珍. 水分胁迫对不同抗旱性花生品种生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(4): 82-85.  
XUE Hui-qin, Sun Lan-zhen. Effect of Water Stress on Physiological Character in Different Drought Resistant Peanut Varieties [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1997, 15(4): 82-85.
- [8] 汤笑. 水氮及其互作对花生生理特性和产量品质的影响[D]. 山东农业大学, 2007.  
TANG Xiao. The Effect and Interaction of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Physiological Characteristics, Yield and Quality of Peanut [C]. Shandong Agricultural University, 2007.
- [9] 刘吉利,王铭伦,吴娜,等. 苗期水分胁迫对花生产量、品质和水利用效率的影响[J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(2): 114-118.  
LIU Ji-li; WANG Ming-lun; WU Na, et al. Effect of Water Stress on Yield, Quality and WUE during Peanut Seedling Stage [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(2): 114-118.
- [10] 黎裕. 作物抗旱鉴定方法与指标[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(1): 91-99.  
Li Y. The Identification Method and Index for Crop Drought Resistance. Agricultural Research in the Arid Areas, 1993 10, 91-99.
- [11] Hsiao T C. Plant responses to water stress [J]. Annual review of plant physiology, 1973, 24: 519-570.
- [12] Welch R M, Graham R D. Breeding for micronutrients in staple food crops from human nutrition perspective [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 353-364.
- [13] Welch R M, Graham R D. Breeding crops for enhanced micronutrient content [J]. Plant and Soil, 2002, 245: 205-214.
- [14] Graham R D, Senadhira D, Beebe S E, et al. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches [J]. Field Crops Research, 1998, 60: 57-80.
- [15] 汪贵斌,曹福亮. 盐分和水分胁迫对落羽杉幼苗的生长量及营养元素含量的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 56-62.  
WANG Gui-bin, CAO Fu-liang. Effect of Salt Stress on Growth and Uptake of Nutrient of Taxodium distichum under Varying Soil Water Content [J]. Scientia silvae sinicae. 2004, 40(6): 56-62.
- [16] 汪贵斌,袁安全,曹福亮,等. 土壤水分胁迫对银杏无机营养元素含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(6): 15-18.  
WANG Gui-bin, YUAN An-quan, et al, PAN Jing-xia. The Effects of Water Stress on Nutrient Element Contents in Root, Stem and Leaf of Ginkgo [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition),
- [17] 张凯,崔玉亭,周顺利,等. 两种水分条件下冬小麦籽粒部分微营养含量及其基因型差异研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 19-23.  
ZHANG Kai, CUI Yu-ting, ZHOU Shun-li, et al. Study of Part Micronutrition Contents of Winter Wheat Grains and Genotypes Diversity under Two Kind Irrigation Conditions [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(5): 19-23.
- [18] 王月福,于振文,潘庆民,等. 水分胁迫对耐旱性不同小麦小花分化发育和氮磷及激素含量的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 20(1): 38-43.  
WANG Yue-fu, YU Zhen-wen, PAN Qing-min, et al. Effect of water stress on floret differentiation and the content of nitrogen, phosphorus and plant hormone in different drought-enduring wheat, Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 2000, 20(1): 38-43.
- [19] 谭晓荣,戴媛,伏毅. 干旱对小麦幼苗 Cu、Mn 含量的影响及其机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 152-159.  
TAN Xiao-rong, DAI Yuan, FUYI. Effect of drought on content of copper and manganese in wheat seedlings and related mechanism [J]. Agricultural Research in the Arid Areas. 2010, 28(1): 152-159.
- [20] 姜丽娜,葛宝珍,张黛静,等. 小麦籽粒 Zn、Fe、Mn、Cu 含量的基因型和环境差异及与产量关系的研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 982-987.  
JIANG Li-na, HAO Bao-zhen, ZHANG Dai-jing, et al. Genotypic and environmental differences in grain contents of Zn, Fe, Mn and Cu and how they relate to wheat yield [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 982-987.
- [21] 莫昭展. 土壤水分胁迫对互叶白千层无机营养元素含量的影响[J].

- 河南农业科学, 2010, (4): 33-35.  
MO Zhao-zhan. The Effects of Water Stress on Inorganic Nutrients Content in Leaf of *Melaleuca leucadendron*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences. 2010, (4): 33-35.
- [22] 汪洪, 金继运, 周卫, 等. 不同水分状况下施锌对玉米生长和锌吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1):91-97.  
WANG Hong; JIN Ji-yun; ZHOU Wei, et al. Effects of zinc application on growth and zinc uptake of maize under soil moisture stress[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2003,9(1):91-97.
- [23] 石岩, 林琪, 李素美, 等. 土壤水分胁迫对小麦养分分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报 1998, 4(1):50-56.  
SHI Yan; LIN Qi; LI Su-mei, et al. Effect of Soil Water Stress on Nutrient Distribution And Yield of Wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 1998,4(1):50-56.
- [24] 董顺德, 张延春, 孙德梅, 等. 干旱胁迫下烤烟矿质养分含量与烟叶产、质量的关系[J]. 烟草科技, 2005, (2):30-34.  
DONG Shun-de, ZHANG Yan-chun, SUN De-mei, et al. Relationship between Content of Mineral Nutrients and Yield and Quality of Flue-cured Tobacco under Drought Stress[J]. Tobacco Science & Technology, 2005, (2):30-34.
- [25] 马文涛, 樊卫国. 干旱胁迫对实生红橘、甜橙和柚叶中营养元素含量的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(4): 630-634.  
MA Wen-tao, FAN Wei-guo. Effect of drought stress on mineral nutrient contents in leaves of seedling plant of *C. tangerina* Hort., *C. sinensis* O sbeck and *C. grandis* O sbeck. Southwest China Journal of Agricultural Sciences. 2007,20(4): 630-634.
- [26] Lockett C T, Calvert C C, Grivetti L E. Energy and micronutrient composition of dietary and medicinal wild plants consumed during drought[J]. International Journal of Food Science Nutrition, 2000, 51(3):195-208.

## Soil water stress on mineral element content of peanut seed kernel

DAI Liangxiang<sup>1</sup>, SONG Wenwu<sup>1</sup>, DING Hong<sup>1</sup>, WAN Shubo<sup>2</sup>, SUN Kuixiang<sup>1</sup>,  
ZHAO DeLian<sup>3</sup>, ZHANG Zhimeng<sup>1\*</sup>

1. Peanut Research Institute of Shandong province, Qingdao 266100, China;

2. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

3 Shandong Zhaoyuan Mengzhi Office, Zhaoyuan 265400, China

**Abstract:** 29 peanut varieties (lines), recently bred or planted in northern China, were studied in the whole growth period under water condition of artificial control. The normal water supply (75%~80% of field moisture capacity) and moderate drought stress (45%~50% of field moisture capacity) were set as two water treatments in the whole growth period. After harvest, the contents of some microelements like iron, zinc, manganese, aluminum, cadmium and major mineral elements, such as calcium, magnesium, potassium, phosphorus, nitrogen, etc, were analyzed. As the result indicated, the contents of lead and chromium in peanut seed kernel were so low that they could not be detected. The contents of microelements and major mineral elements were significantly different among varieties. In the microelements, the content of aluminum was the highest and manganese content was the lowest. In addition, iron and zinc contents were in the middle. Except aluminum, the contents of iron, zinc, cadmium and manganese increased significantly under drought condition. In particular, the iron content under drought was 2.9 times more than it under watering. The following one was the cadmium content (2.4 times under drought more than content in the water supply condition), and the zinc content was 1.6 times as well. But under drought the contents of calcium and magnesium in peanut seed kernel decreased. The contents of nitrogen, phosphorus and potassium had no significant difference between the two treatments. Except the content of zinc, the correlation of coefficients among the other elements was significant or highly significant under the two treatments. The correlation coefficients of magnesium, manganese and cadmium were the maximum (0.95 above), which were all larger than those between other mineral elements. The following one is calcium, and the correlation coefficient of phosphorus was the minimum. Studies have shown that drought could increase the contents of iron, zinc, cadmium and manganese in peanut seed kernels. And the synergistic effect of microelements was notable. Soil moisture reduced the correlation coefficients between phosphorus, as well as potassium, and other mineral elements in peanut seed kernels.

**Key words:** peanut; soil water stress; mineral element content