

水钾耦合对花生根系形态及产量的影响

张 鹏^{1,2,3}, 张玉龙^{1,2,3}, 邹洪涛^{1,2,3}, 张玉玲^{1,2,3}, 廖常建^{1,2,3}, 虞 娜^{1,2,3}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 发改委土肥资源高效利用国家工程实验室, 辽宁 沈阳 110866;
3. 农业部东北耕地保育重点实验室, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 为优化花生生长发育的水钾耦合模式, 以花育 25 为试验材料, 采用盆栽试验, 研究了花生根系形态及产量对水钾耦合效应的响应。结果表明, 灌溉是关键因素, 对根长具有显著影响, 对根系生物量、根瘤数、根系平均直径、根系总体积、根系总表面积和荚果干产量均具有极显著影响。水分轻度胁迫 W2(50%FC, FC 为田间持水量) 有利于根系的伸长, 而湿润的土壤环境利于根系的增粗。各项指标水分效应平均值显示, W2 处理根系总长最大, 较水分适中 W3(65%FC) 提高了 9.22%; 根系直径 W4(80%FC) > W3(65%FC) > W2(50%FC) > W1(35%FC)。根系总表面积和总体积均随水分增多先增后减, 最大值均在 W3 处理。增施钾肥利于根系生长发育, 钾肥效应平均值显示, 根系总体积、总表面积和总长均表现为 K3(405 kg·hm⁻²) > K2(270 kg·hm⁻²) > K1(135 kg·hm⁻²) > K0(0 kg·hm⁻²); 根系生物量中钾(K2)和高钾(K3)处理分别较对照(K0)提高 23.18% 和 9.27%。水钾耦合效应对根瘤数的影响达极显著水平, 干旱情况下钾肥能促进根瘤的形成, 在水分胁迫 W1(35%FC) 和轻度胁迫 W2 下, 花生根瘤数随着施钾量的增加增大的趋势明显。适水中钾 W3K2 处理可以促进根系平均直径、总长、总表面积和总体积, 该处理下的荚果产量最高, 与同组不施钾处理(W3K0)相比增产 12.7%。本试验条件下, 水分控制在 65% 田间持水量, 钾肥用量为 270 kg·hm⁻² 时有利于促进根系的生长和根瘤的形成, 提高产量, 实现节水节肥。

关键词: 花生; 水钾耦合; 根系; 产量
中图分类号: S565.2 **文献标志码:** A

Coupling effects of irrigation and potassium fertilization on root morphological characters and yield of peanut

ZHANG Peng^{1,2,3}, ZHANG Yu-long^{1,2,3}, ZOU Hong-tao^{1,2,3}, ZHANG Yu-ling^{1,2,3},
LIAO Chang-jian^{1,2,3}, YU Na^{1,2,3}

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;
2. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer in The Development and Reform Commission, Shenyang, Liaoning 110866; China; 3. Key Laboratory of Ministry of Agriculture of Northeast Farmland Conservation, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: In order to optimize the coupling model of water and potassium, a pot experiment was conducted to analyze the association of root morphological characters and yield of peanut to the coupling effects of water-potassium. Huayu 25 (peanut species) had been treated as the test seed. The results showed that the irrigation was the key factor that had a significant ($P < 0.05$) effect on peanut root length, and had an extremely significant ($P < 0.01$) effect on all other indicators. Mild water stress W2 (50%FC) was promotive to the elongation of roots, while the moist soil environment was advantageous to the thickening of the root system. Root indexes average value of moisture effect indicated that the total root length under the mild water stress (W2) reached the maximum, increased by 9.22% from that by the moderate water W3 (65%FC). Effects on root diameter followed the order of W4(80%FC) > W3(65%FC) > W2(50%FC) > W1(35%FC). Total surface area and total volume were increased first and then became decreased with the increase of moisture content. The maximum values of two indexes were obtained by W3. Adding potassium fertilizer was beneficial to root growth and development. Effects on root indexes average value including total root volume, total surface area and total length by potassium followed the order of K3 (405 kg·hm⁻²) > K2 (270 kg·hm⁻²) > K1 (135 kg·hm⁻²) > K0 (0 kg·hm⁻²). The root biomass by K3 and K4 was 23.18% and 9.27% higher than that by K0. Only the coupling effect

收稿日期: 2015-07-10
基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项经费(201303125)
作者简介: 张 鹏(1990—), 男, 甘肃陇南人, 硕士研究生, 主要研究方向为农业节水。
通信作者: 虞 娜(1975—), 女, 河北抚宁人, 副教授, 博士, 主要从事土壤改良和农业节水研究。E-mail: sausoilyn@163.com。

of water and potassium on the number of nodules reached a very significant level ($P < 0.01$). Potassium fertilizer could promote the formation of nodules in drought conditions. Under the condition of water stress (W1) and mild water stress (W2), the number of root nodules was increased with the dosage increment of potassium. The treatment W3K2 could promote the root average diameter, total length, total surface area and total volume, and caused the highest pod yield. Compared to treatment W3K0 with no potassium, the pod yield was increased by 12.7%. In conclusion, the study suggested that it is beneficial to the growth of roots and the formation of nodules when the moisture retains a level of 65% FC and the potassium fertilizer was increased to $270\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, not only to get high yield, but also to achieve the purpose of saving water and fertilizer.

Keywords: peanut; coupling effects of irrigation and potassium; root; yield

水分和养分是作物栽培管理中的重要生产要素,在很大程度上决定着作物的产量和品质^[1]。而根系作为植物地下吸收水分及养分的主要器官,也是一个灵敏的“感知系统”,其形态会随外界生物因素和非生物因素的变化而发生改变^[2]。已有研究表明,植物根系对水分梯度很敏感,能够沿着梯度向含水量较多的土层生长^[3]。杨晓康等^[4]认为,在整个生育时期,干旱均能增加花生根长、根表面积和根尖数。李文娆等^[5]认为,紫花苜蓿在遇到干旱逆境时主根的伸长生长会受到抑制,主根直径也会变细;而侧根和根系总长度的伸长生长则被促进,直径 $\geq 1\text{ mm}$ 的侧根数目和根系表面积也有显著增加。

花生作为嗜钾作物,在缺钾条件下,侧根伸长受到抑制,延缓植物生长,影响花生的产量与品质^[6-7]。刘连全等^[8]发现,钾肥能促进蚕豆根瘤形成与固氮能力增加。合理施用钾肥对提高花生产量和品质有重要作用,但是,我国钾肥的当季利用率不高,只有 35%~50%,远低于发达国家^[9]。自从 Arnon 提出如何在水分受限制的条件下合理施用肥料、提高水分利用效率是旱地植物营养的基本问题以后^[10],旱地农田水肥耦合效应研究就一直为国内

外许多研究者所关注。国外学者对花生水氮耦合的研究表明,通过对水分和肥料搭配的调控可以提高肥料的效率^[11]。因此,如何利用有限的水资源和适量的肥量,通过“以水调肥”和“以肥控水”的水肥耦合效应来提高花生水肥利用效率,从而改善花生品质、保证经济产量、提高经济效益,是当前花生生产中迫切需要解决的问题。

为此,本试验以花生为研究对象,通过研究不同水钾耦合效应对花生根系及产量的影响,寻求花生高产高效的最佳水钾耦合模式,以期为我国干旱半干旱地区花生的节水高产、节肥高效的管理技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 5—10 月在沈阳农业大学试验基地遮雨棚内进行。供试土壤为褐土,采自辽宁省彰武县老河土乡,土壤基本理化性质见表 1。试验在遮雨棚内采用盆栽方法,所用盆钵为普通塑料桶,高 30 cm,直径 25 cm,底部有 4 个通气孔。供试花生品种为花育 25。

表 1 供试土壤的基本性质(0~20 cm)
Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil

田间持水量 Field capacity /%	容重 Bulk density /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	pH	全碳 Total C /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮 Avail N /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Olsen - P /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Avail K /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
25.25	1.48	5.81	10.96	1.15	69.60	15.56	100.07

1.2 试验设计

试验采用水、钾二因素四水平随机区组设计,3 次重复。土壤相对水分含量分别设为 35% FC (W1)、50% FC (W2)、65% FC (W3)、80% FC (W4),FC 为田间持水量。钾肥采用硫酸钾, K_2O 的 4 个水平分别为 0.00(K0)、0.15(K1)、0.30(K2)、 $0.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (K3) (折合田间用量分别为 0、135、270、 $405\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);所用氮肥为尿素,N 用量为 $0.067\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (折合田间用量为 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),钾肥和氮肥分两次施

入,即 1/2 的钾肥和氮肥做基肥施入,另 1/2 的钾肥和氮肥在结荚期作追肥施入。磷肥为过磷酸钙, P_2O_5 用量为 $0.167\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (折合田间用量为 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),磷肥作为基肥一次性施入。试验每桶称 15 kg 风干褐土,与肥料混合后装桶。播种前三天将各桶土壤水分调成田间持水量,可用称重法算出加水量,所加水量平均分成三份,第一份加在表层,第二份用塑料管加在 10 cm 深处,第三份用塑料管加在 20 cm 深处,这样能使肥料在土中均匀分布。在播

种后 21 天开始水分处理,用称重法确定灌水量。在花生的整个生长季,各处理水分均控制在设计水平,视气温情况,每隔 1~3 d 补充灌溉。

1.3 测定项目与方法

试验于 5 月 23 日播种。每桶种两穴,每穴种两粒,出苗 10 天后再间苗,每穴留一株。收获后在第一对侧枝下 1 cm 处剪断,进行根茎的分离,采集根样。根瘤数用计数法测定;根系用 WINRHIZO 根系分析系统进行根系扫描,测定根系总长、总体积、总表面积和平均直径;根茎放于 105℃烘箱杀青 30 min 后,70℃烘 48 h,测定根系生物量;花生荚果风干后称重。

1.4 数据处理

采用 excel2013 进行数据整理和作图,DPS7.5 数据分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

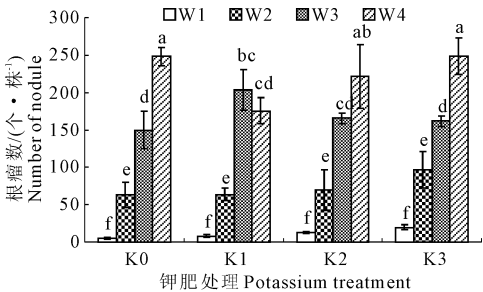
2.1 花生根瘤数对水钾耦合效应的响应

采用双因素方差分析研究水分和钾肥对花生根瘤数的影响,结果表明,钾肥效应不显著,水分及水钾耦合效应对花生根瘤数的影响均达差异极显著水平($P < 0.01$)。由图 1 可以看出,在钾肥供应相同的条件下,根瘤数随灌水量的增多整体都呈现增加的趋势,分析表明,除 K1,在 K0、K2 和 K3 三个钾肥处理条件下,各组处理间差异极显著($P < 0.01$)。在水分处理 W1 和 W2 条件下,花生根瘤数随着施钾量的增多而增多,说明在干旱情况下钾肥有助于根瘤菌的生长,促进了根瘤的形成;在水分处理 W3 条件下,花生根瘤数随钾肥的增加表现为先增后减的趋势,表明在适宜水分条件下,钾肥过多或过少均不利于根瘤的形成。本试验根瘤数最多的是高水高钾的 W4K3 处理,平均单株根瘤数达 248.7 个;根瘤数最少的是水分匮乏且缺钾的 W1K0 处理,平均单株根瘤数只有 5.0 个。

2.2 花生根系生物量对水钾耦合效应的响应

双因素方差分析表明,单株根系生物量对水分和钾肥互作响应不同,水钾耦合存在正效应但差异不显著,水分效应大于钾肥,分别达到 1% 和 5% 显著水平。单一水分效应表明,W2、W3、W4 处理均极显著高于 W1 处理。单一钾肥效应表明,以 K2 最大,与 K3 差异不显著,但极显著高于 K1 和 K0 处理,K0、K1 和 K3 之间差异亦不显著。由图 2 分析看出,在不施钾(K0)时,W2、W3 和 W4 处理的根系生物量显著($P < 0.05$)高于水分胁迫 W1 处理;在 W3 条件下,花生根系生物量表现为 $K3 > K2 > K1 > K0$,最高值 W3K3 以及 W3K2、W3K1 与最低值 W3K0 相

比增长幅度分别为 28.48%、17.09% 和 9.49%,这表明在水分适宜条件下钾肥能促进根系的生长发育;其他 3 种水分条件下,花生根系生物量随施钾量的变化整体上呈现出“低-高-低”的趋势,最高值都在 K2 处,说明在 W1、W2 和 W4 条件下,施钾量为 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时最有利于根系干物质的累积。在所有处理中,根系生物量的最大值出现在高水中钾(W4K2)处理,为 $2.25 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。



注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different letters indicate differences assessed by Duncan's Multiple Range test ($P < 0.05$). The same below.

图 1 花生根瘤数对水钾耦合效应的响应

Fig.1 Coupling effects of irrigation and potassium on the number of root nodule of peanut

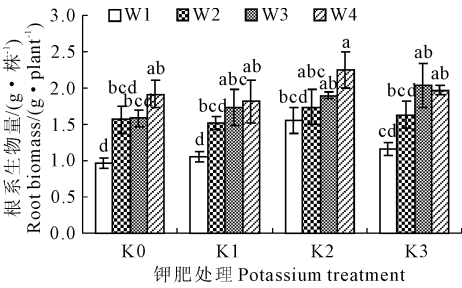


图 2 花生根系生物量对水钾耦合效应的响应

Fig.2 Coupling effects of irrigation and potassium on the root biomass of peanut

2.3 花生根系生理形态对水钾耦合效应的响应

不同的水钾耦合效应对花生根系生理形态的各项指标都有一定的影响,差异未达显著水平。分析表明,就根系平均直径而言(图 3A),水分效应达极显著水平($P < 0.01$)。水分效应平均值显示,随灌水量增加,根系平均直径表现为 $W4 > W3 > W2 > W1$,说明湿润的土壤环境有利于根系增粗。水分轻度胁迫(W2)根系总长最大,较水分适中(W3)提高了 9.22%,发生水分胁迫时(W1)花生根系总长度最短,说明极度干旱限制了根系的伸长生长,而适当缺水可刺激根系向土层深处生长(图 3B);对根系总长而言,水、钾均对其达到 5% 显著水平,分别以 W2 和 K3 单一效应最大。

对根系总表面积和总体积统计分析均表明,水

分和钾素效应均达到 1% 极显著水平。从图 3C 和 3D 分析可知,在水分胁迫(W1)条件下,根系总表面积和总体积都是随着施钾量的增加先增后减,原因可能是缺水条件下过多的钾肥降低了土水势,不利

于根系吸水生长,从而抑制其生长。钾肥效应平均值显示,根系总体积、总表面积和总长均表现为 $K3 > K2 > K1 > K0$,说明增施钾肥利于根系生长发育。

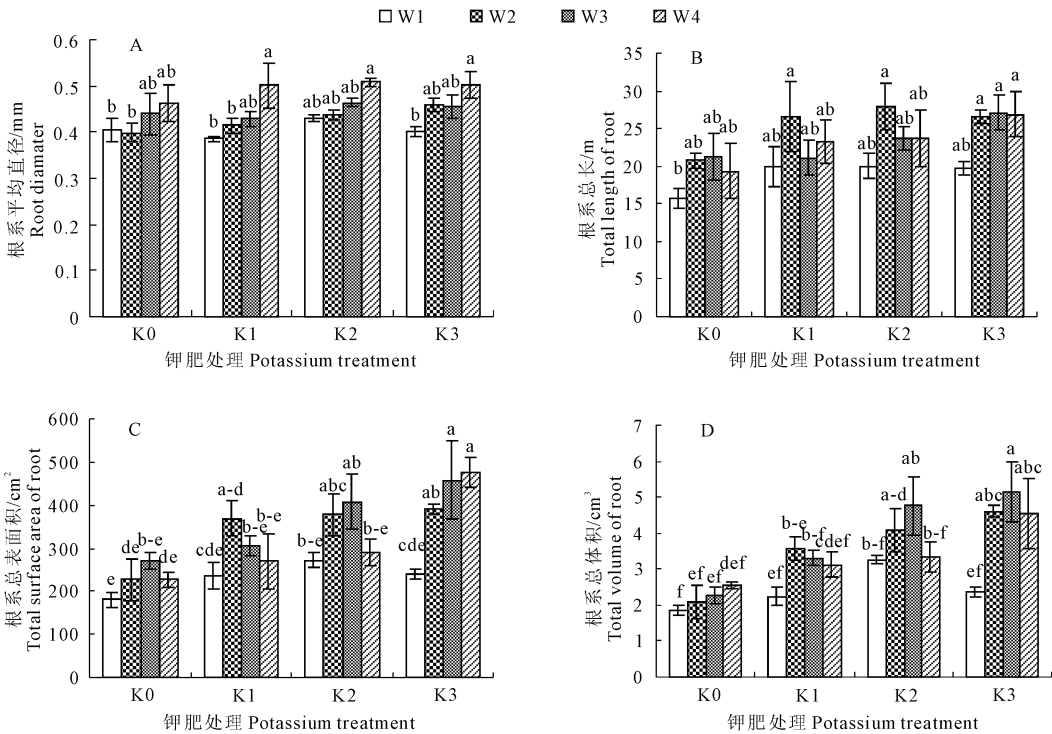


图 3 花生根系平均直径、总长、总表面积和总体积对水钾耦合效应的响应

Fig.3 Coupling effects of irrigation and potassium on the diameter, total length, surface area and volume of root

2.4 花生荚果产量对水钾耦合效应的响应

经双因素方差分析,仅水分对产量的影响达到差异极显著水平($P < 0.01$),成为决定产量的重要因素。由图 4 可知,在 W1、W2 和 W4 条件下,花生荚果产量基本上没有受到钾肥的影响;在 W3 条件下,产量随施钾量的增加呈先增后减的趋势,在 K2 处增加到最大水平, W3K2 的单株荚果干产量为 $35.27\text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。统计分析表明,当施钾量为 K2 时, W3K2, W4K2 和 W2K2 与 W1K2 相比增产幅度分别

为 174.1%, 150.8% 和 126.9%, 差异极显著($P < 0.01$)。

3 讨 论

根瘤菌和豆科植物共生形成的根瘤是自然界中最重要的生物固氮体系之一,花生根瘤同样具有固氮的能力^[12]。如果通过外部因素的诱导来促使根瘤的形成,势必会在一定程度上提高花生自身固氮效率从而减少氮肥的使用量。有研究证实,花生根瘤菌与花生根系通过有效的共生固氮作用,可以在花生的整个生育期内提供 50% 左右的氮素养分^[13]。刘世旺等研究表明,接种根瘤菌的花生产量比没接种过的花生有显著提高^[14]。本试验研究表明,水钾耦合效应极显著地($P < 0.01$)促进了根瘤的形成,在水分充足(W3)条件下,最高组合 W3K1 的单株根瘤数为 $203.7\text{ 个} \cdot \text{株}^{-1}$,与不施钾处理 W3K0 相比提高 35.8%。曹延松等^[15]也认为缺钾不利于花生根瘤形成,不利于苗期的发育,这与本文结果一致。

根系作为土壤—植物系统的重要组成部分^[16],在以往的研究中备受学者们的关注,但是关于水钾耦合对花生根系影响的研究较少。花生根系生物量的大

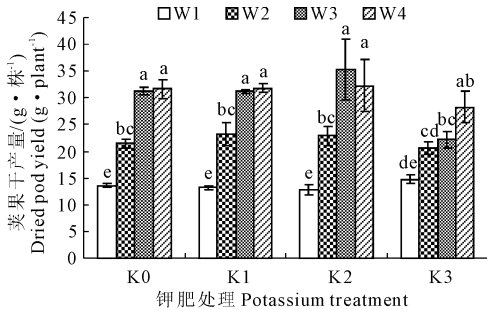


图 4 花生单株荚果干产量对水钾耦合效应的响应

Fig.4 Coupling effects of irrigation and potassium on the dried pod yield of peanut

小可以反映花生根系的整体生长情况,李伟锋等^[17]认为钾肥对花生地上部茎叶和地下生殖器官影响较大,而对根系影响较小,这与本文结果相悖。在本试验条件下,钾肥对花生根系生物量累积的影响显著($P < 0.05$);就一般而言,土壤水分亏缺条件下,花生根系形态特征会发生一系列的适应性调节,如通过增加深层土壤内根长、根系表面积和体积等方式来优化空间分布构型,以利于植株对水分最大限度地吸收^[18],这与本文研究结果有所差异,本试验表明,当土壤水在 50%左右时花生根系会向土壤深层生长,但是低于 50%时会严重抑制根系的发育。赵晖^[19]研究表明,适量钾肥有助于烤烟生育后期主根的伸长,还能增加根系吸收面积和活跃吸收面积。本试验证明,钾肥对根系总长影响显著($P < 0.05$),而对于根系直径来说钾肥的影响甚微,起主要作用的是水分,根系直径在各钾肥处理条件下随着水分的增多而变粗,说明湿润的土壤环境有利于植物根系的横向发展。水钾耦合效应对花生根系的总体积和总表面积的影响大体上一致,总的来说,钾肥在各水分条件下不同程度地促进了根的生长,增加了根系总体积和总表面积。

国外学者研究表明,水氮耦合效应对花生荚果产量,籽仁产量及生物产量的影响均不显著,而水分和氮素效应对这三者的影响都达极显著水平($P < 0.01$)^[20],这与本试验结果相似。孙彦浩等^[21]认为,花生经济产量是以总生物产量的累积为转换基础的,其两者是正相关的,就是说没有较大的总生物产量,也就不可能有较高的荚果产量,但也有研究表明根系增长不一定意味着高产^[22]。本研究表明,不同的水钾耦合处理造成的根系及根瘤生长的变化差异与产量的变化有一定的相似性,在 W3K2 和 W4K2 处理分别在 W3 和 W4 条件下拥有最大的根系生物量,同样也具有最大的荚果产量。所以,研究水钾耦合对根系和根瘤的影响对提高产量具有实际意义。

4 结 论

综上所述,本试验条件下,水分、钾肥及水钾耦合效应对根系形态指标影响各异,水分效应总体上大于钾肥效应,水分单一效应对所有观测指标均达到显著或极显著水平,水钾耦合效应仅对根瘤数的影响达极显著水平($P < 0.01$)。综合各项指标,本研究筛选出 W3K2 作为最优水钾耦合处理,即土壤水分控制在 65%田间持水量,施钾量维持在 270 kg·hm⁻²时有利于促进根系的生长和根瘤的形成,提高产量,实现节水节肥。

参 考 文 献:

[1] 孙 霞,柴仲平,蒋平安.滴灌条件下水氮耦合对南疆红富士苹果品质的影响[J].核农学报,2011,25(5):1042-1046.

[2] 任永哲,徐艳花,丁锦平,等.非生物因素调控植物根系发育可塑性的研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):34-38.

[3] Akahashi T N, Yamazaki Y, Kobayashi A, et al. Hydrotropism interacts with gravitropism by degrading amyloplasts in seedling roots of Arabidopsis and radish[J]. Plant Physiol,2003,132:805-810.

[4] 杨晓康,柴沙沙,李艳红,等.不同生育时期干旱对花生根系生理特性及产量的影响[J].花生学报,2012,41(2):20-23.

[5] 李文娆,张岁岐,丁彦珍,等.干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J].生态学报,2010,30(19):5140-5150.

[6] Armengaud P, Breilting R, Amtmann A. The potassium – dependent transcriptome of Arabidopsis reveals a prominent role of jasmonic acid in nutrient signaling[J]. Plant Physiol,2004,136:2556-2576.

[7] 周可金,马成泽,宋燕平,等.过量施用钾肥对花生生长的抑制作用[J].安徽农业大学学报,2001,28(3):284-287.

[8] 刘连全,张满堂.氮磷钾不同组配对蚕豆的效应研究[J].湖南农业科学,1991,(4):47-48.

[9] 张 民,杨越超,宋付鹏.包膜控释肥料研究与产业化开发[J].化肥工业,2005,32(2):7-13.

[10] Aron I. Physiological principles of dry and crop production[C]// Gupta US.Physiological aspect s of dry and land farming. New York: Universal Press,1975:3-124.

[11] Abdulkadir S, Ekman B, Ali R D, et al. The effect of irrigation and nitrogen on mineral composition of peanut (*Arachis hypogaea* L.) leaves[J]. Journal of Food, Agriculture and Environment,2013,11(4):824-827.

[12] 马中雨,李 俊,张永芳,等.大豆根瘤菌与大豆品种共生匹配性研究[J].大豆科学,2008,27(2):221-227.

[13] 李 力,曹凤明,徐玲玫,等.花生根瘤菌的抗逆性初步研究[J].微生物学通报,2000,27(1):42-47.

[14] 刘世旺,王宝林,陶佳喜,等.根瘤菌与三种化肥配合施用对花生生长的影响[J].北方园艺,2007,(6):42-44.

[15] 曹延松,张宜茂,姜同先.氮、磷、钾、钙元素对花生苗期生长发育的影响[J].花生科技,1986,(4):22-25.

[16] Sumio I. In situmeasurement of rooting density by micro – rhi – zotron [J].Soil Sci.Plant Nutr,1985,31(4):653-656.

[17] 李伟锋,张保亮,何延成,等.钾肥对花生生育影响及适宜钾用量研究[J].花生学报,2004,33(2):30-32.

[18] 丁 红,张智猛,戴良香,等.不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对于干旱胁迫的响[J].生态学报,2013,33(17):5169-5176.

[19] 赵 晖,聂红资.钾肥种类及用量对烤烟根系生长发育的影响[J].浙江农业科学,2011,(6):1304-1306.

[20] Arash K, Ebrahim A, Hossein B. Irrigation Management and Fertilizer of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) with a drip irrigation system: yield, HI and water use efficiency [J]. Biological Forum,2015,7(1):609-616.

[21] 孙彦浩,王才斌,陶寿详,等.试论花生的高产潜力和途径[J].花生科技,1998,(4):5-9.

[22] Passiowra J B. Root and drought resistance[J]. Agricultural Water Management,1983,(7):265-280.