

# 不同质地土壤对花生根系生长、分布和产量的影响

贾立华 赵长星 王月福\* 王铭伦

青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东省旱作农业技术重点实验室, 青岛 266109

**摘 要** 为了探究土壤类型与花生(*Arachis hypogaea*)根系生长及产量之间的关系, 采用箱栽的方法, 研究了不同质地土壤(砂土、壤土、黏土)对花生根系生长、分布和产量的影响。砂土和壤土中花生根系干物质重各时期均显著高于黏土中, 但生育后期黏土中花生根系干物质重比壤土和砂土下降相对较慢。从不同类型土壤质地根系分布及根系活力来看, 黏土根系主要分布在上层土壤, 但上层土壤根系活力后期下降慢; 砂土有利于花生根系向深层土壤生长, 但上层土壤根系活力后期下降快; 而壤土对花生根系生长和活力时空分布的影响介于黏土和砂土之间。砂土有利于花生荚果的膨大, 且花生荚果干物质积累早而快, 但后期荚果干物质重积累少; 壤土的花生荚果干物质积累中后期多, 黏土则在整个生育期均不利于花生荚果干物质积累。最终荚果产量、籽仁产量和有效果数均表现为壤土最大、砂土次之、黏土最小。研究表明通气性和保肥保水能力居中的壤土更适合花生的根系生长发育及产量的形成。

**关键词** 生长, 花生, 根系, 土壤质地, 产量

## Effects of different soil textures on the growth and distribution of root system and yield in peanut

JIA Li-Hua, ZHAO Chang-Xing, WANG Yue-Fu\*, and WANG Ming-Lun

Shandong Provincial Key Laboratory of Dryland Farming Technology, College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

### Abstract

**Aims** This paper explores soil types to suit the development of root system and improve the yield of peanut (*Arachis hypogaea*).

**Methods** We used the method of box-planted cultivation to study the effects of different soil textures, i.e., sandy, loam and clay soils, on the development and distribution of root system and yield of peanut.

**Important findings** Root dry matter weight of peanut in sandy and loam soils was higher significantly than in clay soil; however, in the later growth stage, the decrease of root dry matter weight of peanut in clay soil is relative slow compared with peanut in loam and sandy soil. In clay soil, the root system of peanut was mainly distributed in the shallow soil layer, but the decrease of root activity in the upper layers was much slower in the late growth period. Sandy soil was helpful for the root system of peanut to grow to the deeper soil layer, but the decrease of root activity in the surface layers was faster in the later growth period. The effects of loam soil on the spatial and temporal distribution of the development and activity of peanut roots were between sandy and clay soil. Sandy soil favored enlargement of the peanut pod, and the dry matter accumulation of peanut pod in sandy soil was earlier and faster, but the dry matter accumulation in the later growth period was less in sandy soil. In loam soil, the dry matter accumulation of peanut pod was mainly concentrated in middle and later periods, while clay soil was not suitable for the dry matter accumulation of peanut pod in the entire growth period. The pod yield, kernel yield and available pod number were largest in loam soil, second in sandy soil and lowest in clay soil. Results suggested that loam soil, with mid-levels of aeration and water and fertilizer conservation among the three soil textures, was most suitable for the growth and yield of peanut.

**Key words** growth, peanut, root system, soil texture, yield

土壤质地是土壤重要的物理性状之一, 对作物根系生长分布和根系活力有重要影响。花生

(*Arachis hypogaea*)是地上开花地下结果的作物, 研究土壤质地对花生根系生长、分布和产量的影响,

探讨适合花生根系生长和产量形成的适宜土壤类型,对因地制宜、合理布局花生生产和改良土壤具有重要的意义。20世纪30年代Weaver提出:“要科学地理解作物生产,就必须全面地认识作物根系生长发育、根群分布、不同生育时期根系吸收水分和养分的活力,以及不同环境下作物根系的变化”(王空军等, 2001)。黏粒含量高的土壤透性差,会造成根系变短,根系干重减少(李潮海等, 2004),进而导致地上部分单株总叶面积减小,影响光合产物的积累(邵云等, 2012),最终导致作物产量下降。前人通过长期试验研究表明,甜菜(*Beta vulgaris*)、大豆(*Glycine max*)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)、玉米(*Zea mays*)、向日葵(*Helianthus annuus*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)等作物在砂土中的水分利用效率比其在壤土中低22%–25% (Katerji & Mastrorilli, 2009)。但不同作物对土壤质地反应不同,烟草(*Nicotiana tabacum*)根系的生长与衰老在砂土中要明显优于黏土(马新明等, 2003)。玉米的根系衰老则表现为随黏粒含量的增加而减缓(李潮海等, 2004)。玉米在抽丝期的群体根系活力与抽丝后干物质积累量、总干物质积累量及籽粒产量相关最密切(陆卫平等, 1999)。但是,目前不同质地的土壤对花生产量形成及根系生理特性的影响缺乏系统性研究,因中国花生种植分布范围较广,土壤质地类型多样,亟待深入研究花生生长发育与土壤质地类型之间的关系。因此,本试验选择山东省种植花生的3种典型的质地土壤类型,研究了土壤质地对花生根系生长和产量的影响,以期探讨适合花生根系生长和产量形成的适宜质地土壤类型,为花生高产栽培和土壤改良提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2011年和2012年在青岛农业大学农学与植物保护学院实验站进行。供试土壤为砂土、壤

土和黏土3种质地,分别从青岛农业大学莱阳实验基地、青岛农业大学胶州实验基地、青岛市城阳上马街道取0–30 cm土壤运回试验站进行试验,各质地土壤物理性状和养分含量如表1。采用使用PVC板制成可拆卸的长40 cm、宽20 cm、高100 cm的塑料箱,于前1年的10月份,分别装入上述类型土壤,埋于土中,用水沉实,使箱子中的土壤紧实度接近于相应的大田土壤。每个箱子施纯氮0.96 g、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.2 g、K<sub>2</sub>O 0.96 g、合成有机肥(主要成分有棉籽饼、豆饼、花生粕、硼砂、ZnSO<sub>4</sub>、MgO等)12 g,在播种前均匀地施于15 cm土层中。每年于5月1日,选均匀饱满的种子每箱播种4粒,出苗后选留2株。在箱栽试验区周围种植1 m宽、与试验箱相同行距和株距的保护区。每种质地土壤24箱。播种后覆膜,待出苗后去掉地膜。其他管理(包括追肥培土、水分及病虫害防治等)同一般大田生产。

1.2 测定项目与方法

花生开花后第5天开始每隔10天左右取样一次,每次一个处理取3箱。取样时将土柱周围土挖开,将整个土柱完好的取出,先用流水轻微冲洗土柱。分别在0–30、30–60、60–100 cm取样,再用流水将整株花生根系冲出;采用TTC(氯化三苯基四氮唑)还原法测定3个土层根系脱氢酶活性(邹琦, 2000)。荚果干重和不同土层根系干重测定方法为先在105 ℃杀青0.5 h,然后在75 ℃烘至恒重;荚果体积测定用排水法。收获时调查有效果数;采用自然晒干后称重测定荚果产量、籽粒产量;计算出仁率(籽仁产量/荚果产量)。

1.3 数据分析

数据、图表处理采用Excel、统计分析和差异显著性检验采用DPS数据处理系统。

2 结果和分析

2.1 不同质地土壤对花生荚果发育和产量的影响

由表2可以看出,2年度花生荚果产量、生物产

表1 土壤颗粒组成和基础养分含量  
Table 1 Tested soil mechanical composition and basic nutrient content

土壤质地 Soil texture	土壤颗粒组成 Composition of soil particles (%)			pH	有机质 Organic matter (%)	碱解氮 Available nitrogen (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium (mg·kg <sup>-1</sup> )
	<0.001 mm	0.05–0.01 mm	0.05–1.0 mm					
砂土 Sandy soil	9	26	65	6.01	7.59	55.10	8.67	50.05
壤土 Loam soil	19	58	23	6.11	13.26	66.76	10.11	77.00
黏土 Clay soil	45	46	9	5.93	19.73	91.45	9.65	89.20

表2 土壤质地对花生产量及构成要素的影响

Table 2 Effects of soil texture on yield and its component factors of peanut

年度 Year	土壤质地 Soil texture	有效果数 Valid pods (No. plant <sup>-1</sup> )	荚果产量 Pod yield (g plant <sup>-1</sup> )	生物产量 Biological yield (g plant <sup>-1</sup> )	出仁率 Shelling percentage (%)	籽仁产量 Seed yield (g plant <sup>-1</sup> )
2011	黏土 Clay soil	10.30 <sup>Bb</sup>	24.97 <sup>Bb</sup>	50.79 <sup>Bb</sup>	67.44 <sup>Aa</sup>	16.84 <sup>Cc</sup>
	壤土 Loam soil	13.25 <sup>Aa</sup>	32.30 <sup>Aa</sup>	55.85 <sup>Aa</sup>	61.42 <sup>Bb</sup>	19.84 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	12.67 <sup>Aa</sup>	30.46 <sup>Aa</sup>	53.72 <sup>Aa</sup>	59.03 <sup>Cc</sup>	17.98 <sup>Bb</sup>
2012	黏土 Clay soil	18.50 <sup>Bb</sup>	43.33 <sup>Cc</sup>	79.28 <sup>Cc</sup>	62.07 <sup>Aa</sup>	26.89 <sup>Bb</sup>
	壤土 Loam soil	23.50 <sup>Aa</sup>	50.68 <sup>Aa</sup>	95.87 <sup>Aa</sup>	60.49 <sup>Bb</sup>	30.66 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	22.50 <sup>Aa</sup>	46.25 <sup>Bb</sup>	87.54 <sup>Bb</sup>	58.99 <sup>Cc</sup>	27.28 <sup>Bb</sup>

不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ); 不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。

Different small letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ); different capital letters indicate highly significant difference ( $p < 0.01$ ).

表3 土壤质地对花生荚果体积的影响

Table 3 Effects of soil texture on pod volume of peanut (mL plant<sup>-1</sup>)

年份 Year	土壤质地 Soil texture	开花后天数 Days after flowering (d)					
		17	27	37	47	57	70
2011	黏土 Clay soil	12.5 <sup>Bb</sup>	26.0 <sup>Bb</sup>	28.0 <sup>Bb</sup>	55.0 <sup>Cc</sup>	85.0 <sup>Bb</sup>	95.0 <sup>Bb</sup>
	壤土 Loam soil	22.5 <sup>Aa</sup>	60.0 <sup>Aa</sup>	67.5 <sup>Aa</sup>	75.0 <sup>Bb</sup>	112.5 <sup>Aa</sup>	115.7 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	23.0 <sup>Aa</sup>	55.0 <sup>Aa</sup>	75.0 <sup>Aa</sup>	105.0 <sup>Aa</sup>	115.0 <sup>Aa</sup>	117.5 <sup>Aa</sup>
2012	黏土 Clay soil	4.5 <sup>Bb</sup>	40.3 <sup>Cc</sup>	85.0 <sup>Cc</sup>	95.0 <sup>Cc</sup>	109.5 <sup>Cc</sup>	120.0 <sup>Bb</sup>
	壤土 Loam soil	17.0 <sup>Aa</sup>	53.8 <sup>Bb</sup>	102.5 <sup>Bb</sup>	115.0 <sup>Bb</sup>	129.9 <sup>Bb</sup>	145.0 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	21.0 <sup>Aa</sup>	64.6 <sup>Aa</sup>	122.5 <sup>Aa</sup>	132.5 <sup>Aa</sup>	135.0 <sup>Aa</sup>	152.5 <sup>Aa</sup>

不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ); 不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。

Different small letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ); different capital letters indicate highly significant difference ( $p < 0.01$ ).

量和有效果数虽然差别较大,但是不同土壤质地对花生荚果产量、生物产量和有效果数的影响表现趋势是一致的,即花生荚果产量、生物产量和有效果数2年均以壤土中最高,其次为砂土,黏土中最低,其中壤土荚果产量分别比砂土和黏土的荚果产量高6.07%–9.58%和16.96%–29.40%,且达到极显著差异水平。虽然出仁率表现为黏土>壤土>砂土,但籽粒产量仍表现为壤土最大,砂土次之,黏土最小。表明壤土有利于花生生长发育而高产。

由表3可以看出,3种质地土壤的花生荚果体积均随着花生生育进程呈现递增趋势,但体积增加的大小有差异,表现为各时期花生荚果体积均以砂土为最大(除2011年开花后27天壤土的较砂土的大以外),壤土次之,黏土最小。其中砂土中的荚果体积与壤土的差异相对较小,两者大多数时期均极显著大于黏土的荚果体积。表明砂土和壤土有利于花生荚果的膨大。

由表4可以看出,3种质地的土壤花生荚果干物质重均随着生育进程呈现递增趋势,干物质重增加

的程度有差异。在开花后27天之前表现为各时期花生荚果干物质重均以砂土中为最大,壤土次之,黏土最小。砂土中荚果干物质重两年均极显著高于黏土处理,2011年和2012年开花后27天砂土干物质重比黏土分别高出37.46%和72.10%。在开花后27天之后则表现为各时期花生荚果干物质重均以壤土中为最大,砂土次之,黏土最小。壤土中荚果干物质重两年均显著高于黏土处理,2011年和2012年开花后70天砂土中的干物质重比黏土分别高出29.40%和16.96%。表明砂土中花生荚果干物质积累早而快,而壤土中的花生荚果干物质积累中后期多,黏土在整个生育期均不利于花生荚果干物质积累。

## 2.2 土壤质地对花生根系干物质重时空分布的影响

由表5可以看出,3种质地的土壤花生根系干物质重均表现为随着生育进程呈现先增加,达到最高值后又逐渐降低的变化趋势,花生根系干物质重均在开花后37天前后达到最大值。但是各时期不同质地土壤中花生根系干物质重存在显著差异,砂土和

表4 土壤质地对荚果干物质重的影响  
Table 4 Effects of soil texture on dry matter weight of pods (g·plant<sup>-1</sup>)

年份 Year	土壤质地 Soil texture	开花后天数 Days after flowering (d)					
		17	27	37	47	57	70
2011	黏土 Clay soil	1.44 <sup>Cc</sup>	9.21 <sup>Bb</sup>	14.28 <sup>Ac</sup>	17.15 <sup>Bc</sup>	22.81 <sup>Bc</sup>	24.97 <sup>Bc</sup>
	壤土 Loam soil	1.96 <sup>Bb</sup>	12.16 <sup>Aa</sup>	16.78 <sup>Aa</sup>	24.24 <sup>Aa</sup>	30.66 <sup>Aa</sup>	32.31 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	2.38 <sup>Aa</sup>	12.66 <sup>Aa</sup>	15.24 <sup>Ab</sup>	22.66 <sup>Ab</sup>	28.78 <sup>Ab</sup>	30.46 <sup>Ab</sup>
2012	黏土 Clay soil	0.69 <sup>Bb</sup>	7.24 <sup>Bb</sup>	18.81 <sup>Bb</sup>	25.92 <sup>Bc</sup>	39.91 <sup>Cc</sup>	43.33 <sup>Cc</sup>
	壤土 Loam soil	1.00 <sup>Bb</sup>	8.55 <sup>Bb</sup>	25.19 <sup>Aa</sup>	36.10 <sup>Aa</sup>	49.76 <sup>Aa</sup>	50.68 <sup>Aa</sup>
	砂土 Sandy soil	3.69 <sup>Aa</sup>	12.46 <sup>Aa</sup>	23.89 <sup>Aa</sup>	33.51 <sup>Ab</sup>	45.70 <sup>Bb</sup>	46.25 <sup>Bb</sup>

不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ); 不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。  
Different small letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ); different capital letters indicate highly significant difference ( $p < 0.01$ ).

表5 2012年土壤质地对花生根系干物质重的影响  
Table 5 Effects of soil texture on dry matter weight of root system of peanut in 2012 (g·plant<sup>-1</sup>)

土壤质地 Soil texture	开花后天数 Days after flowering (d)						
	5	17	27	37	47	57	70
黏土 Clay soil	2.58 <sup>Cc</sup>	6.34 <sup>Cc</sup>	9.49 <sup>Bc</sup>	15.62 <sup>Cc</sup>	12.92 <sup>Cc</sup>	7.10 <sup>Cc</sup>	6.76 <sup>Aa</sup>
壤土 Loam soil	5.88 <sup>Aa</sup>	9.59 <sup>Aa</sup>	10.10 <sup>Bb</sup>	20.34 <sup>Bb</sup>	15.06 <sup>Bb</sup>	8.30 <sup>Bb</sup>	6.59 <sup>Aa</sup>
砂土 Sandy soil	4.11 <sup>Bb</sup>	8.14 <sup>Bb</sup>	15.31 <sup>Aa</sup>	24.22 <sup>Aa</sup>	18.86 <sup>Aa</sup>	10.64 <sup>Aa</sup>	6.60 <sup>Aa</sup>

不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ); 不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。  
Different small letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ); different capital letters indicate highly significant difference ( $p < 0.01$ ).

壤土中的根系干物质重互有高低, 而各时期(除开花后70天)黏土的花生根系干物质重均极显著低于砂土和壤土, 说明黏土不利于花生根系的生长发育。从花生根系干物质重达到最大值后的下降幅度看, 黏土中, 花后47天、57天和70天分别下降了17.3%、54.5%和56.7%, 壤土中, 花后47天、57天和70天分别下降了26.0%、59.2%和67.6%, 砂土中, 花后47天、57天和70天分别下降了22.1%、56.1%和72.7%, 后期黏土中, 花生根系干物质重比壤土和砂土下降得相对慢, 说明生育后期壤土和砂土花生根系衰老得比黏土的快。

由图1可以看出, 3种质地土壤中花生根系0–30 cm土层根系干重占根系总干重的比例变化均呈先随着生育进程逐渐降低, 到开花后37天前后达到最低, 之后又逐渐升高。但不同质地土壤0–30 cm土层根系干重占根系总干重的比例存在显著差异, 各个时期均以黏土中为最高, 0–30 cm土层根系干重占根系总干重的67.0%–80.6%, 壤土和砂土中的差异不显著, 壤土0–30 cm土层根系干重占根系总干重的49.3%–67.2%, 砂土0–30 cm土层根系干重占根系总干重的44.6%–64.6%。

30–60 cm土层根系干重占根系总干重的比例各个时期基本以壤土中为最高, 砂土中居中, 黏土中最低。壤土30–60 cm土层根系干重占根系总干重的31.0%–38.6%, 砂土30–60 cm土层根系干重占根系总干重的19.4%–38.6%, 黏土30–60 cm土层根系干重占根系总干重的15.6%–23.0%。

60–100 cm土层根系干重占根系总干重的比例各个时期基本以砂土中为最高, 壤土中居中, 黏土中最低。壤土60–100 cm土层根系干重占根系总干重的1.8%–15.4%, 砂土60–100 cm土层根系干重占根系总干重的1.7%–26.0%, 黏土60–100 cm土层根系干重占根系总干重的1.6%–11.8%。

上述结果表明黏土不利于花生根系深扎, 根系主要分布在上层土壤, 砂土则有利于花生根系向深层土壤生长, 而壤土中花生根系生长的空间分布介于黏土和砂土之间。

2.3 土壤质地对花生根系活力的影响

由表6可以看出, 3种质地土壤各土层花生根系活力均随着生育进程呈现先升高后降低的变化趋势。其中砂土3个土层中根系活力均在花后17天达到最大值; 而黏土和壤土0–30 cm和30–60 cm土层

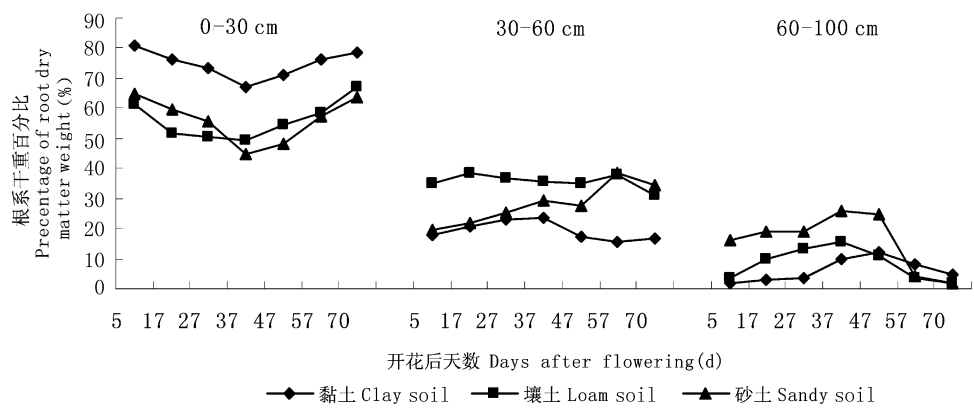


图1 土壤质地对不同土层花生根系干物质重的影响。  
Fig. 1 Effects of soil texture on distribution of dry matter weight of root of peanut in different soil layers.

表6 不同土壤质地对花生根系活力的影响  
Table 6 Effects of different soil textures on root activity of peanut ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$ )

土壤质地 Soil texture		开花后天数 Days after flowering (d)						
		5	17	27	37	47	57	70
黏土 Clay soil	0–30 cm	41.63 <sup>BCDcd</sup>	90.92 <sup>ABab</sup>	58.52 <sup>Ecd</sup>	48.67 <sup>Dd</sup>	38.91 <sup>ABb</sup>	29.76 <sup>Aa</sup>	27.71 <sup>Aa</sup>
	30–60 cm	31.27 <sup>EFfg</sup>	85.16 <sup>Bb</sup>	55.86 <sup>Ed</sup>	37.89 <sup>Ee</sup>	28.52 <sup>Dde</sup>	19.14 <sup>Ed</sup>	15.25 <sup>CDcd</sup>
	60–100 cm	27.19 <sup>Fg</sup>	67.19 <sup>Cc</sup>	75.39 <sup>CDb</sup>	57.66 <sup>Cc</sup>	26.56 <sup>De</sup>	16.02 <sup>Ec</sup>	9.53 <sup>Ff</sup>
壤土 Loam soil	0–30 cm	46.70 <sup>ABb</sup>	94.92 <sup>ABab</sup>	64.84 <sup>DEc</sup>	55.78 <sup>Cc</sup>	39.06 <sup>ABb</sup>	28.98 <sup>ABab</sup>	27.73 <sup>Aa</sup>
	30–60 cm	42.30 <sup>BCbc</sup>	100.78 <sup>ABa</sup>	59.38 <sup>Ecd</sup>	40.63 <sup>Ee</sup>	30.08 <sup>CDde</sup>	25.00 <sup>BCc</sup>	16.80 <sup>CDc</sup>
	60–100 cm	35.16 <sup>DEef</sup>	85.94 <sup>Bb</sup>	90.00 <sup>ABa</sup>	78.12 <sup>Aa</sup>	33.44 <sup>BCDcd</sup>	19.92 <sup>DEd</sup>	11.72 <sup>EFe</sup>
砂土 Sandy soil	0–30 cm	53.19 <sup>Aa</sup>	100.39 <sup>ABa</sup>	78.98 <sup>BCb</sup>	59.77 <sup>BCc</sup>	35.55 <sup>BCbc</sup>	25.83 <sup>BCc</sup>	23.83 <sup>Bb</sup>
	30–60 cm	36.78 <sup>CDde</sup>	94.92 <sup>ABab</sup>	56.89 <sup>Ecd</sup>	40.63 <sup>Ee</sup>	32.67 <sup>BCDcd</sup>	26.61 <sup>ABCbc</sup>	17.19 <sup>Cc</sup>
	60–100 cm	43.13 <sup>BCbc</sup>	102.336 <sup>Aa</sup>	92.97 <sup>Aa</sup>	64.84 <sup>Bb</sup>	44.53 <sup>Aa</sup>	28.35 <sup>ABab</sup>	14.06 <sup>DEd</sup>

不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ); 不同大写字母表示差异极显著 ( $p < 0.01$ )。  
Different small letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ); different capital letters indicate highly significant difference ( $p < 0.01$ ).

根系活力均在花后17天达到最大值, 60–100 cm土层在花后27天达到最大值。0–30 cm土层花生根系活力在花后37天之前表现为砂土中最高, 壤土中次之, 黏土中最低, 且砂土和黏土间差异均达到极显著水平。之后则表现为壤土和黏土中的根系活力高于砂土。在前期30–60 cm土层根系活力壤土中最高、砂土中次之、黏土中最低, 且壤土和黏土间差异达到显著水平。在后期则表现为砂土>壤土>黏土。60–100 cm土层花生根系活力在整个生育时期内基本均表现为砂土中最高、壤土中次之、黏土中最低。说明砂土有利于花生根系活性的提高, 但上层土壤根系活力后期下降得快。黏土不利于花生根系活力的提高, 但上层土壤根系活力后期下降得慢。壤土花生根系活力变化介于两者之间。

3 讨论

3.1 土壤质地对花生产量及构成要素的影响

有研究指出, 土壤质地对花生荚果膨大有着重要的影响, 随土壤含砂率提高而提高了土壤的透性和土壤温度, 加快了花生生育进程, 对荚果增大、果重增加起促进作用(杨英民等, 1991)。本试验结果表明, 花生荚果体积以砂土中为最大, 壤土中次之, 黏土中最小, 砂土有利于花生荚果的膨大, 这与前人的研究结果一致。砂土中花生荚果干物质积累早而快, 但后期荚果干物质重积累少, 壤土中花生荚果干物质积累中后期多, 黏土则在整个生育期均不利于花生荚果干物质积累。最终荚果产量、籽仁产量和有效果数均表现为壤土中最大、砂土中次之、

黏土中最小。各处理花生产量的计算方法都一样, 数据具有可比性。

### 3.2 土壤质地对根系干物质重及时空分布的影响

李潮海等(2004)采用池栽方式对轻壤土、中壤土和轻黏土上玉米根系状况进行了研究, 认为轻壤土、中壤土、轻黏土随着土壤中物理性黏粒的增加, 根量在上层土壤中所占的比例加大。本试验结果表明, 各取样时期砂土和壤土的根系干物质重互有高低, 而各时期黏土地花生根系干物质重均是最低的, 但后期黏土比壤土和砂土花生根系干物质重下降得相对慢。黏土中根系主要分布在上层土壤, 不利于花生根系深扎, 砂土有利于花生根系向深层土壤生长, 壤土介于黏土和砂土之间。说明不同质地的土壤的水、气、热等理化性状差异较大, 从而引起花生根系形态分布性状的差异。

### 3.3 土壤质地对根系活力及时空分布的影响

根系活力是根系吸收性能的重要指标, 前人研究表明花生根系活力随着生育时期推进均呈现先升后降的趋势(王月福等, 2012)。本研究表明3种质地土壤各土层花生根系活力均随着生育进程呈现先升高后降低的变化趋势。砂土有利于花生根系活性的提高, 但上层土壤根系活力后期下降得快。黏土不利于花生根系活力的提高, 但上层土壤根系活力后期下降得慢。壤土花生根系活力变化介于两者之间。

土壤质地是反映潜在土壤生产力的重要指标。前人研究认为质地不同的土壤理化性质差别很大, 机械阻力、颗粒组成和总孔隙度都不一样, 这些因素通过影响热、气、水和营养在土壤中的移动和含量而影响作物根系的生长发育(康绍忠等, 1999; 谭勇等, 2006; 陆海东等, 2010)。研究认为增施氮肥或土壤肥力高有利于小麦根系的生长发育, 提高了根系活力, 延缓了根系的衰老, 提高了小麦籽粒产量和蛋白质含量(王月福等, 2003)。本试验中虽然土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等含量均以黏土为最高, 砂土为最低, 但黏土中花生根系的生长不及砂土, 表明土壤质地对花生根系生长的影响是土壤物理性质和化学性质共同作用的结果。

## 4 结论

砂土土壤疏松, 活土层深厚, 有利于花生根系向深层土壤生长, 但其保水性及养分水平较差, 导

致根系活力后期下降较快, 虽有利于花生荚果的膨大, 干物质积累早而快, 但后期荚果干物质积累少, 不利于高产。黏土土壤致密, 通气性差, 虽然其保水性及养分水平较高, 根系活力后期下降较慢, 但在整个生育期不利于花生根系深扎, 不利于花生荚果干物质积累。壤土致密性和通气性介于砂土及黏土之间, 土壤养分特性适中, 有利于花生根系生长并保持较强的根系活力, 荚果干物质积累中后期较多。因此, 最终荚果产量、籽仁产量和有效果数均表现为壤土最大, 砂土次之, 黏土最小。限于本研究控制的土壤质地处理数量较少, 有关土壤质地引起的生物与化学性质差异对花生根系生长和产量形成的影响还有待进一步加强。

**基金项目** 国家自然科学基金项目(31271657)、国家花生产业技术体系建设项目(Nycytx-19)、国家农业科技成果转化资金项目(2011GB2C600010)、山东省“泰山学者”建设项目“作物栽培学与育种学”和山东省现代农业产业技术体系建设项目。

## 参考文献

- Kang SZ, Zhang JH, Liang JS (1999). Combined effects of soil water content and temperature on plant root hydraulic conductivity. *Acta Phytoecologica Sinica*, 23, 211–219. (in Chinese with English abstract) [康绍忠, 张建华, 梁建生 (1999). 土壤水分与温度共同作用对植物根系水分传导的效应. *植物生态学报*, 23, 211–219.]
- Katerji N, Mastrorilli M (2009). The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy*, 30, 95–100.
- Li CH, Li SL, Wang Q, Hou S, Jing J (2004). Effect of different textural soils on root dynamic growth in corn. *Scientia Agricultura Sinica*, 37, 1334–1340. (in Chinese with English abstract) [李潮海, 李胜利, 王群, 侯松, 荆棘 (2004). 不同质地土壤对玉米根系生长动态的影响. *中国农业科学*, 37, 1334–1340.]
- Lu HD, Xue JQ, Ma GS, Hao YC, Zhang RH, Ma XF (2010). Soil physical and chemical properties and root distribution in high yielding spring maize fields in Yulin, Shaanxi Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21, 895–900. (in Chinese with English abstract) [陆海东, 薛吉全, 马国胜, 郝引川, 张仁和, 马向峰 (2010). 陕西榆林春玉米高产田土壤理化性状及根系分布. *应用生态学报*, 21, 895–900.]
- Lu WP, Zhang QL, Lu JD, Wang Z, Zong SY (1999). Relationship of root activity to dry matter accumulation and

- grain yield in maize (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 25, 718–722. (in Chinese with English abstract) [陆卫平, 张其龙, 卢家栋, 王昭, 宗寿余 (1999). 玉米群体根系活力与物质积累及产量的关系. *作物学报*, 25, 718–722.]
- Ma XM, Wang XC, Ni JH, Liu GS (2003). Characteristics of tobacco root development on different types of soil. *Acta Tabacaria Sinica*, 9, 39–44. (in Chinese with English abstract) [马新明, 王小纯, 倪纪恒, 刘国顺 (2003). 不同土壤类型烟草根系发育特点研究. *中国烟草学报*, 9, 39–44.]
- Shao Y, Liu HJ, Hu YJ, Wang XJ, Zhang JJ, Li XM, Li CX (2012). Effects of soil textures on morphology and photosynthetic characteristics of flag leaves of wheat during filling stage in chromium polluted soils. *Journal of Triticeae Crops*, 32, 1150–1155. (in Chinese with English abstract) [邵云, 刘会娟, 胡永娟, 王小洁, 张紧紧, 李学梅, 李春喜 (2012). 土壤质地对铬胁迫下小麦灌浆期形态与旗叶光合特性的影响. *麦类作物学报*, 32, 1150–1155.]
- Tan Y, Zhang Y, Li P, Wen QK (2006). Primary study on nutrient adsorption on soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 37, 465–469. (in Chinese with English abstract) [谭勇, 张炎, 李磐, 文启凯 (2006). 土壤对养分离子吸附特性初步研究. *土壤通报*, 37, 465–469.]
- Wang KJ, Zheng HJ, Liu KC, Zhang JW, Dong ST, Hu CH (2001). Evolution of maize root distribution in space-time during maize varieties replacing in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 25, 472–475. (in Chinese with English abstract) [王空军, 郑洪建, 刘开昌, 张吉旺, 董树亭, 胡昌浩 (2001). 我国玉米品种更替过程中根系时空分布特性的演变. *植物生态学报*, 25, 472–475.]
- Wang YF, Xu L, Zhao CX, Wang ML (2012). Effects of phosphorus application on nitrogen accumulation sources and yield of peanut. *Chinese Journal of Soil Science*, 43, 444–450. (in Chinese with English abstract) [王月福, 徐亮, 赵长星, 王铭伦 (2012). 施磷对花生积累氮素来源和产量的影响. *土壤通报*, 43, 444–450.]
- Wang YF, Yu ZW, Li SX, Yu SL (2003). Effects of nitrogen rates and soil fertility levels on root nitrogen absorption and assimilation and grain protein content of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 9, 39–44. (in Chinese with English abstract) [王月福, 于振文, 李尚霞, 余松烈 (2003). 土壤肥力和施氮量对小麦根系氮同化及子粒蛋白质含量的影响. *植物营养与肥料学报*, 9, 39–44.]
- Yang YM, Li JQ, Song MK (1991). Effect of soil textures on development of pod and yield of summer peanut. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, (2), 82–84. (in Chinese) [杨英民, 李俊庆, 宋克美 (1991). 土壤质地对夏花生荚果发育及其产量的影响. *中国油料*, (2), 82–84.]
- Zou Q (2000). *Guide of Plant Physiology Experiment*. China Agricultural Press, Beijing. 62–63. (in Chinese) [邹琦 (2000). *植物生理学实验指导*. 中国农业出版社, 北京. 62–63.]

责任编辑: 李凤民 责任编辑: 李 敏