

温室番茄开花结果期根系与土壤水分变化关系

张 军^{1,3}, 范兴科^{1,2,3}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水保所, 陕西 杨凌 712100; 3. 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:对番茄开花结果期初、中、后期三个阶段根系变化进行数量统计及长度测定,研究了番茄开花结果期不同生长阶段根系生长分布规律。同时对番茄根系层空间不同位置土壤含水率进行测定,分析了根系生长发育与对应区域土壤含水率变化规律和关系,从而为温室番茄种植提供指导。结果表明:开花结果初期到后期,随着时间推移,总根数及最长根长度均有明显增加。番茄主要根系长度从 0~5 cm 生长为 5~15 cm。开花结果期初期根系在水平及垂直方向伸长生长均较明显,开花结果期后期根系以垂直生长为主,水平方向生长相对减弱。土壤含水率的变化与主根系分布表现为较高的一致性,在整个开花结果期,土壤含水率的主要变化区域为径向 0—20 cm,纵向 0—30 cm,并表现为距植株水平距离越大,变幅越小。随土层深度增加,根系层含水率变幅递减的规律。由此得出番茄开花结果期的土壤水分敏感区域为径向距植株 0—20 cm,纵向地表以下 5—30 cm 深度土层,距植株水平距离 5 cm 处 10—20 cm 土层土壤含水率可作为指导开花结果期番茄灌溉的指标。

关键词:番茄; 根系层; 开花结果期; 土壤含水率

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0034-05

Relationship Between Soil Water and Tomato Roots During Blossom Period in Greenhouse

ZHANG Jun^{1,3}, FAN Xingke^{1,2,3}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: We have conducted research on the amount as well as the length of tomato roots at different stages of blossom period so as to study its growth and distribution patterns at different growing stages. Meanwhile measurements of different points in tomato root system in soil layer were also conducted. We have analyzed transformation rules in both horizontal and vertical directions, so as to provide guidance to future tomato planting in greenhouses. Results have shown that the length of majority tomato roots grew from less than 5 cm to 5~15 cm from beginning to the end during blossom period. With time passing by, the amount of tomato roots and the length of the longest root increased significantly. The longer the distance is to the plant, the fewer the fluctuation range of soil moisture is. With the increase of soil depth, the fluctuation range of soil moisture decreased. The soil moisture fluctuated significantly in 30 centimeters underground, however in soil layers under 30 cm underground, the fluctuation was not obvious. At the beginning of blossom period, tomato roots grew apparently in both horizontal and vertical directions. At the end of blossom period, root growth in vertical direction took a dominant role and growth in horizontal direction became relatively slower. The sensitive area of soil moisture during blossom period was 5—30 cm underground in vertical direction and 0—20 cm to the plant in diameter direction. Soil moisture in 10—20 cm soil layer and 5 cm from the plant in horizontal direction can be used to guide irrigation of tomato plant in blossom period.

Keywords: tomato; root layer; blossom period; soil moisture

番茄开花坐果期是番茄生长最旺盛的时期,水肥消耗量相对较大,需要大量的水肥作为支撑,以保证番茄植株的旺盛生长、开花和有效坐果。目前有关番茄的研究较多,主要集中在番茄最佳需水量的研究^[1-3],番茄耗水规律的研究,肥对番茄根系分布的影响^[4-7]等。前人研究指出番茄根系主要集中在 0—40 cm 土层,根系生物量在 0—40 cm 的土层中累计百分比达 85% 以上,番茄根系生物量随土壤深度增加而减少。

了解温室番茄开花结果期根系的生长发育与根层区域内土壤含水率的变化关系,对正确的指导土壤缺水诊断区域、确定合理的灌溉用水量,实现精准高效灌溉有重要意义。

1 材料及方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2014 年在陕西杨凌节水示范园日光温室大棚内进行,温室面积为 8 m×60 m,番茄品种为“金鹏 1 号”。0—20 cm 土层土壤容重为 1.40 g/cm³,田间持水量为 31.43% (体积含水率),有机质含量 14 g/kg,碱解氮 63 mg/kg,速效磷 58.5 mg/kg,速效钾 146.8 mg/kg。定植前施腐熟的鸡粪 1 125 g/m²,三元复合肥(N, P₂O₅ 和 K₂O 的含量分别为 12%, 18% 和 15%) 67.5 g/m²,磷酸二铵 105 g/m²。第一层花序开花时追施尿素 1 次,施肥量为 30 g/m²。

1.2 试验设计

首先育苗,等幼苗长到 3 叶 1 心以后,选取长势一致的幼苗定植于日光温室,采取覆膜栽植方法。经过一周左右的缓苗期。待幼苗成活后到第一层花序开花定为苗期,第一层花序开花至第五层花序开花定为开花坐果期,然后打尖,从第五层花序开花到收获定为果实膨大期。为了避免取土测定水分对根层和土壤结构的影响,采用 TRIME 土壤水分传感器定位观测,根据番茄根系的主要分布区域埋设测定管。研究表明:番茄根系主要分布在 0—40 cm 土层,0—20 cm 深度土层根系最为密集^[8],在番茄种植行中间分别选择 3 株番茄作为三个重复测定对象,沿垂直于种植行方向在距观测番茄植株水平距离 5, 15, 25 cm 处分别垂直埋设长 60 cm 的 TRIME 管 3 根,用于土壤含水率的测定,三个重复水分处理一致,两边设有保护行,保护行与试验株水分处理一致。供水采用人工不定期浇水,灌水量根据浅层土壤含水率的变化,结合番茄生长和长势需要,逐渐增加。

1.3 测试内容与方法

试验于 2014 年 4 月 9 日移苗栽植,5 月 4 日第一层花序开花,5 月 30 日第五层花序开花。在 5 月 4

日至 5 月 30 日(开花结果期)不同时段(始、中和末期)对长势与观测番茄相近的植株根系生长情况进行了测定,表土层含水率用 TRIME-EZ 水分传感器测定,不同深度土层水分用 TRIME-IPH 水分传感器测定,测定距地表垂直距离分别为 5, 10, 20, 30, 40, 50 cm 处的土壤体积含水率,为了保证测定结果的准确性,每个位置通过旋转传感器方位,重复测定 3 次,测定频率为每天一次,灌水当天测两次,灌前、灌后(1 h)各测一次。开花坐果期始、中、末,分别对对照行番茄植株进行破坏性取样,将整根挖掘,采用洗根法将根清洗,用钢尺测量各根的长度,观察根系在土层分布位置,所测根系为用水冲洗后所保留的根长大于 3 cm 的部分,不包括末端比较脆弱、且较细已被水冲掉的毛细根,统计不同生长阶段不同长度范围根的数目、根干重(烘箱 140℃ 下烘干 24 h)及根直径(游标卡尺测得)。所测数据用 Excel 和 Sigmaplot 做图并分析。

2 结果与分析

2.1 根系分布特征

水洗根不可避免会破坏部分较细的根,而细根(直径小于 1 mm)是植物吸收水分和养分的主要根,具有重要意义,作者在试验时取根周围尽可能大的范围挖掘去根,小心洗根,对细根的破坏做到最小。

从图 1 可以看出,随时间推移和地上番茄植株的生长,番茄的株高从 45 cm 左右生长到 100 cm 左右,总根数目近乎翻倍增加,开花结果始、中和末期总根数目分别为 101 条、236 条和 398 条。根干重呈线性增大,从开花结果期初的 0.39 g 增加到开花结果期中的 0.85 g,到开花结果期末时根干重达到 1.21 g。研究发现番茄根系生物量的垂直分布随土壤深度的增加呈递减趋势,开花结果期直径小于 1 mm 的根长占总根长的 96% 以上。

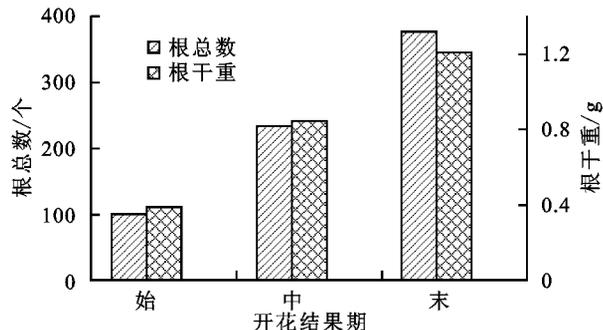


图 1 番茄开花结果期始、中、末根总数及根干重

由图 2 可以看出,番茄开花结果期初期,根系中可测根长以小于 5 cm 为主,比重可达 68.69%,长度 5~10 cm 的根所占比重次之,为 27.83%,长度 10

cm 以上根所占比重不到 10%，根据根系在土壤中呈发散状倾斜向下生长和分布特点，表明开花结果期初番茄可测根系主要集中在径向 0—10 cm，纵向 0—15 cm 范围内的土层。且中心部位根系密度较大，外围根系密度减小。说明在此阶段，根系主要分布在浅层土壤中。开花结果期中期根长在 5 cm 以内根的数目有所减少，5~10 cm 和 10~15 cm 根的数目有所增加，根长在 5 cm 以内根的数目占总根数目的比重下降为 62.49%，5~10 cm 及 10~15 cm 根的数目所占比重分别为 31.63% 和 4.24%，分别比开花结果期初期增加 3.80% 和 2.25%，15 cm 以上根系比重只有 0.63%。开花结果期中期可测根长以 0~10 cm 为主。开花结果期末长度 0~5 cm 的番茄根系所占比重明显下降，仅为 21.06%，这一时期以 5~15 cm 长度根系为主。番茄根系长度在 5~10 cm 的比重可达 31.89%，长度为 10~15 cm 的根所占比重为 27.78%，长度为 15~20 cm 的根所占比重只有 12.87%。表明番茄开花结果初期到中期和末期，随着番茄植株的生长，番茄根系不仅总量在增加，而且根的长度也迅速增加，且有明显的纵深生长趋势。

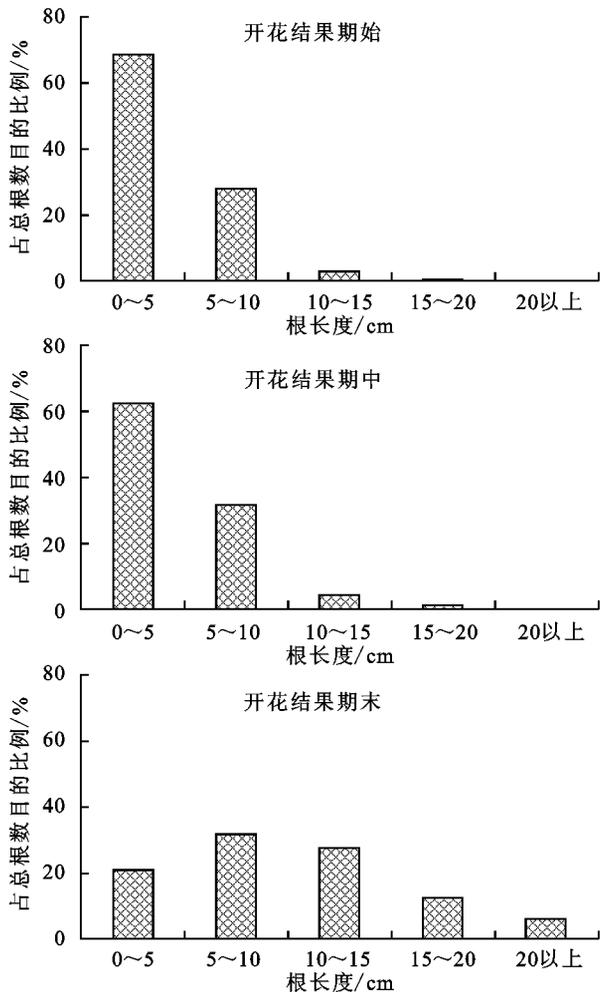


图 2 番茄不同长度根数目所占比重

2.2 土壤含水率的时空变化

2.2.1 土壤含水率在水平方向的变化规律 从图 3 可以看出，每次灌水后受入渗、蒸发蒸腾和番茄根系吸水的作用，表土层的土壤含水率变化最剧烈，10、20 cm 深度土层土壤含水率变异幅度次之，30 cm 及以下土层土壤含水率变幅很小。另外从图中还可以看出番茄开花结果初期灌水频率较高，往后逐渐减少，说明初期浅层土壤耗水量较大，到中后期，浅层土壤耗水量逐渐减少。其原因一方面与表层的土壤蒸发有关，另一方面也与番茄的根系生长发育有关。

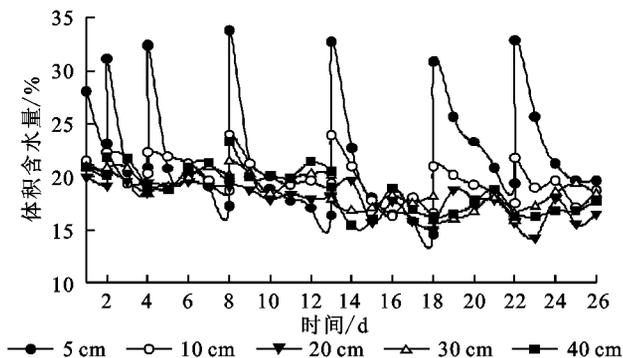


图 3 距植株 15 cm 处不同深度土壤含水率变化规律

由图 4 可以看出，同一土层深度，距植株不同水平距离处土壤含水率变化有所差异，距番茄植株较近的位置，其土壤含水率变化幅度较大，距离番茄植株较远处，其土壤含水率变化幅度较小，即三个层次土壤含水率变化幅度均表现为 5 cm 处大于 15 cm 处，15 cm 处大于 25 cm 处。而且总体表现为浅层土壤含水率的变幅大于深层，从图中可以看出 0—10 cm 深处的土壤含水率的最大变幅为 19%，10—20 cm 深处的土壤含水率的最大变幅为 15%，20—30 cm 深处的土壤含水率的最大变幅为 10%。但各层土壤含水率的变化过程略有不同，0—10 cm 深处的土壤含水率在整个开花结果期始终变化较大，10—20 cm 土层深处含水率在开花结果前期土壤含水率的变幅相对较小，到了后期土壤含水率的变幅则相对较大，特别是距番茄植株较近的 5 cm 测点处较为明显，而 20—30 cm 深处的土壤含水率变幅相对则很小。引起土壤含水率在水平方向变化因素除过与灌水、入渗、地表蒸发有关外，还与番茄生长过程中的根系吸水和蒸腾有关。

2.2.2 土壤含水率在垂直方向的变化规律 受重力和番茄根系吸水的影响，每次灌水后随着时间的推移，土壤含水率在垂直方向的分布状况也将发生变化。图 5 为番茄开花结果期中在灌水后不同时间段，距观测番茄植株 5, 15, 25 cm 处不同深度处土壤水分垂直分布曲线。

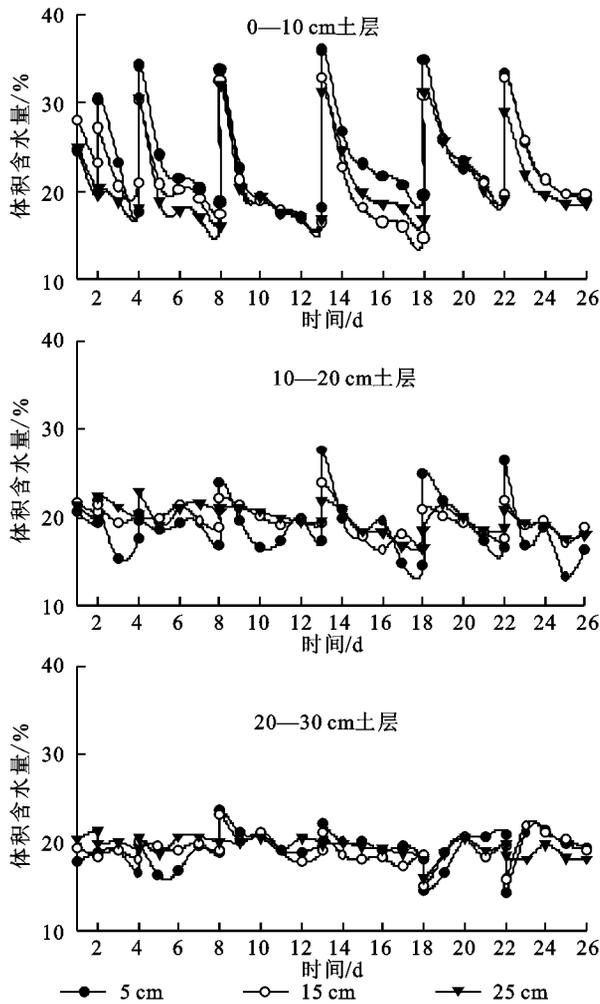


图4 不同深度土层距植株不同水平距离土壤含水率的变化规律

从图5可以看出,灌水后随着时间的推移,距植株不同水平距离处的土壤含水率在垂直方向其大小和变化幅度不同。总体表现为20 cm以上土层含水率变幅较大,20 cm土层以下变幅较小。在灌水后的当天,距植株水平距离5 cm处在5 cm土层深处灌后最大土壤体积含水率可达35%,此后几天内迅速减小,降至19.37%,20 cm土层深度处开始最小,也说明前期土壤水分消耗较大,后逐渐增大并稳定,30 cm土层以下含水率比较稳定。距植株15 cm处土壤含水率变幅次之,距植株25 cm处土壤含水率变幅最小。总体表现为随距植株水平距离的增大表层土壤含水率变幅逐渐减小。

2.3 番茄根系层空间分布与土壤含水率变化的关系

土壤水分是植物生长所需水分的主要来源,根系是植物吸收水肥等营养物质的主要器官,植物根层内土壤含水率的变化与根系层空间分布密切相关,尽管土壤水分的消耗不完全是由植物根系吸水产生的。植物根层内的土壤含水率的时空变化可以间接反映植物根系的时空分布。图6分别为5月5日,5月12日及5月30日三次灌水前根系层区域土壤含水率等

值线图,反映了番茄开花结果期前期,中期及后期三个时期根系层土壤含水率的变化特征。

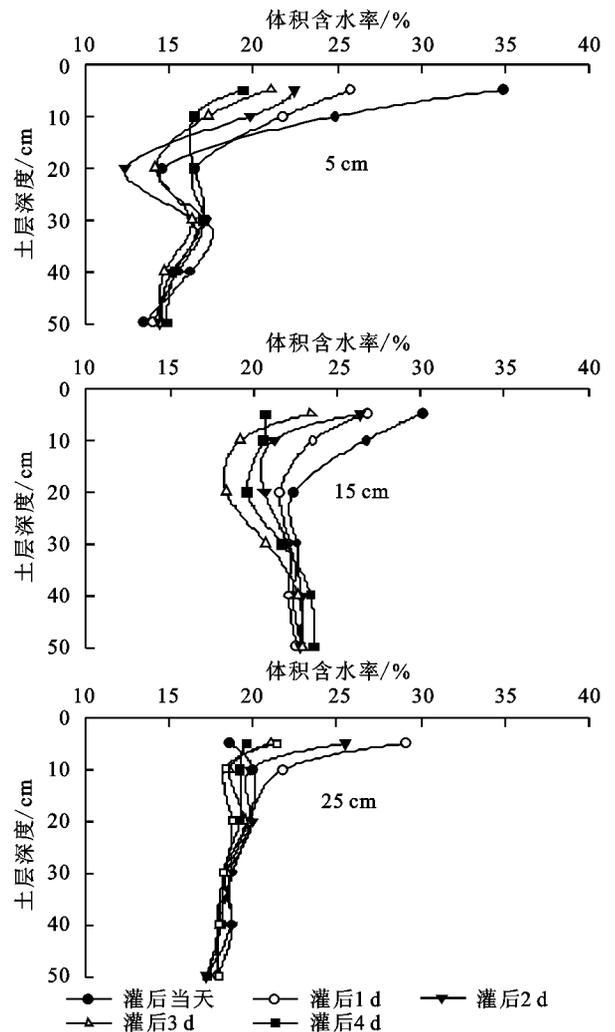


图5 距植株不同水平距离处灌水后土壤水分垂直分布

分析图6可以看出,番茄开花结果前期根系层土壤含水率的最小值出现在垂直方向10—20 cm深度范围内,水平方向出现在距植株0—7 cm处。中期土壤含水率最小值出现区域较前期垂直方向和水平方向均有扩大的趋势,垂直方向变为10—30 cm土层,水平方向为距植株0—10 cm处,表明根长在垂直方向及水平方向均有增长,但缺水峰值出现在20 cm深度处,较前期有所下移。后期土壤含水率最小值出现区域在垂直方向变化不大,水平方向继续扩展到0—17 cm处。根据前面对番茄开花结果期不同时段根系生长发育测定结果,可以发现番茄根层内土壤水分消耗较大的区域略大于番茄根系层的空间分布,如果再加上番茄根系末端还有大量用冲洗法无法获得的微细根,则番茄根层内土壤水分消耗较大的区域与番茄根系层的生长发育有很好的 consistency。从根层区域土壤水分的时空变化表明开花结果期初期根系在水平及垂直方向均伸长生长,后期根系逐渐以水平生长

为主,垂直方向生长相对减弱。这与前人相关研究结果基本一致^[9-10]。上述结果也表明,在番茄开花结果期深度为5—30 cm,径向距植株0—20 cm区域内土壤水分的亏缺对番茄生长影响较为敏感。

土层深度增加,根层含水率变幅递减,0—30 cm深度土壤含水率变幅较大,30 cm以下土层土壤含水率趋于稳定,变幅较小。

(3) 开花结果期初期根系在水平及垂直方向伸长生长均较明显,开花结果期后期根系以垂直生长为主,水平方向生长相对减弱。根系主要分布在纵向5—30 cm深度土层,径向向距植株0—20 cm区域内,且该区域土壤含水率变幅较大,说明在番茄开花结果期,该区域的土壤水分亏缺对番茄生长影响较大,为番茄的土壤水分敏感区。

(4) 开花结果期距植株水平距离5 cm的10—20 cm土层能很好地代表番茄根层土壤缺水状况,该位置土层处在表土层之下,受土壤蒸发失水影响较小,同时该位置处根系分布密集,土壤含水率变化受根系影响较大。故距植株水平距离5 cm处10—20 cm土层土壤含水率可作为指导开花结果期番茄灌溉的指标,当该位置土壤含水率达到设定下限时进行灌溉。

参考文献:

- [1] 刘浩,段爱旺,孙景生,等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2699-704.
- [2] 孙磊,孙景生,刘浩,等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 51-54.
- [3] 郑江坤,魏天兴,陈致富,等. 陕北生态退耕地植被群落土壤贮水量与入渗特性[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 162-165.
- [4] 郭占奎,刘洪禄,吴文勇,等. 日光温室覆膜滴灌条件下樱桃西红柿耗水规律[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 53-58.
- [5] 李波,任树梅,杨培岭,等. 供水条件对温室番茄根系分布及产量影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 39-44.
- [6] 栗岩峰,李久生,饶敏杰. 滴灌施肥时水肥顺序对番茄根系分布和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 205-207.
- [7] 陈炜,邓西平,聂朝娟,等. 不同栽培模式下两个旱地小麦品种籽粒灌浆特性与产量构成分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 240-244.
- [8] 齐广平,张恩和. 膜下滴灌条件下不同灌溉量对番茄根系分布和产量的影响[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 463-467.
- [9] 王淑芬,张喜英,裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布,产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
- [10] 陈新明,蔡焕杰,单志杰,等. 无压地下灌溉对番茄根系分布特征的调控效应[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 10-15.

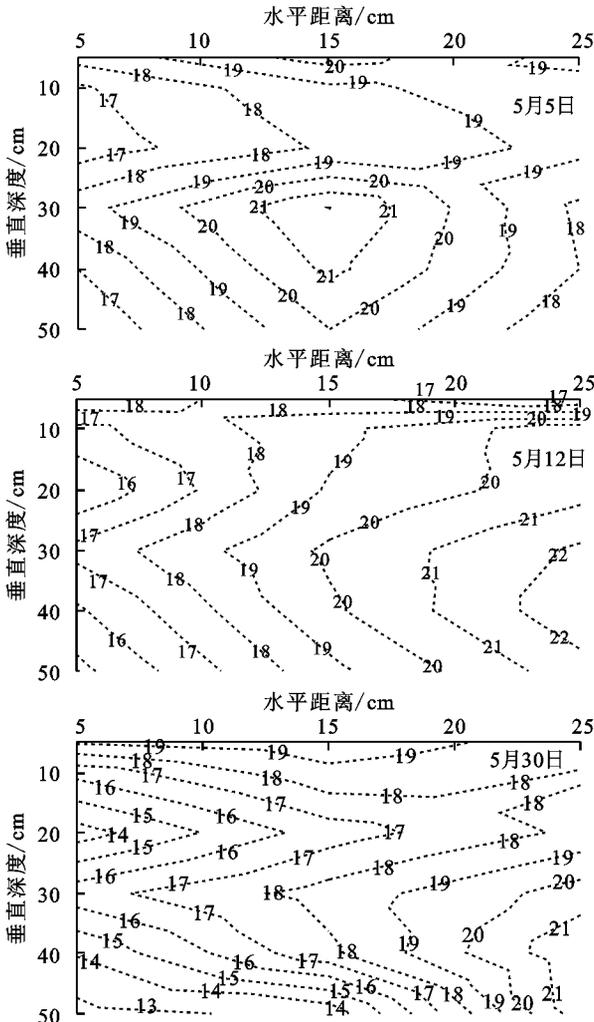


图6 开花结果期不同阶段土壤含水率分布等值线

3 结论

(1) 番茄根系在开花结果期初期,可测根长以0~5 cm为主。到开花结果期中期,0~5 cm长度根系所占比重下降,5~10 cm长度根系所占比重上升。开花结果期末期5~15 cm长度根系占主导地位。同时,根总数及最长根的长度均呈明显线性增长,随时间推移,根系伸长生长明显,且根总量明显增加。

(2) 根层区域内土壤含水率的变化规律表现为在开花结果初期,土壤含水率的变化区域较小,在中后期,土壤含水率的变化区域逐渐增大。总体表现为距植株中心水平距离越大,土壤含水率变幅越小。随