

根际通气对盆栽番茄生长及水分利用率的影响

甲宗霞¹, 牛文全^{1,2*}, 张璇¹, 范文涛¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为探索适宜作物生长的水气环境, 在 3 种土壤水分水平下, 采用 50% 土壤孔隙率的 1.6, 1.2, 0.8, 0.4, 0 五种通气系数等处理方法, 研究了根际通气对盆栽番茄生长指标与根系生长, 以及水分利用率的影响。结果表明: 适宜的土壤水分与适宜的通气量相结合对番茄生长具有显著的促进作用, 通气处理促进了番茄植株的生长, 提高了番茄的根系活力和水分利用率, 当土壤水分为 70%~80% 田间持水量, 通气系数为 0.8 时, 番茄株高日增长率、茎粗、叶面积指数及叶片叶绿素含量分别比对照提高 14.34%、22.39%、23.95%、29.98%; 根系活力达最大值 [13.440 mg/(g·h)], 与未通气处理的 [8.319 mg/(g·h)] 比较, 增大了 61.55%; 番茄水分利用率比对照提高了 16.97%。

关键词: 根际通气; 盆栽番茄; 植株生长; 根系生长; 水分利用率

中图分类号: S145.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0018-07

植株的生长发育状况直接决定于根系的生长状况, 而根系环境、根系的呼吸能力是影响根系正常生长的重要因素。土壤水分过多、土壤过度紧实都将对作物根系的生长产生较大的抑制作用^[1,2]。也有研究认为植物根际土壤中气态比例较低, 或 O₂ 浓度低、CO₂ 浓度高时, 也会严重影响作物根系的吸收作用, 进而威胁到地上部分的生长^[3~6]。众多学者通过研究根际 CO₂ 浓度对马铃薯植株生长的影响, 认为过多的 CO₂ 会抑制其生长, 根际通气处理可有效降低 CO₂ 浓度, 促进作物生长^[7~11]。而且改善根际气体环境能够显著提高植株根系活力和吸收能力^[12~14]; 并能促进作物根系代谢, 改善作物植株根系和地上部的生长^[15,16]。尽管很多学者研究了根际通气对作物生长的影响, 但是对水气结合的研究还不多见, 因此本试验主要研究有利于番茄生长的较佳水气组合, 为生产实际提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2010 年 7~11 月在陕西关中平原三级台塬阶地的遮雨棚下进行。试验用土采用杨凌塬土, 取自耕地内表层 20 cm 以内。以“天泽春雷”番茄品种为供试材料。

1.2 试验设计

试验采用盆栽法, 盆上内径 29 cm, 下底内径 22 cm, 高 24.5 cm。设置土壤水分水平和通气量两个

影响因素, 土壤水分水平根据已有的研究, 分别设为田间持水量的 60%~70%、70%~80% 和 80%~90%, 即低水、中水、高水三个水平, 采用称重法控制水分^[17]; 根据已有研究以土壤孔隙率的 50% 作为标准通气量^[18], 共设 5 个通气系数, 分别为 1.6, 1.2, 0.8, 0.4, 0。共设 15 个处理, 每个处理设 8 个重复, 其具体试验处理设计见表 1, 每个处理按照盆距为 15 cm, 均匀摆放在遮雨棚内。

本试验灌水方式为滴灌, 采用先灌水后通气的方式。试验时将进气管以螺旋方式铺入盆底一圈, 为使气体在土壤中均匀扩散, 在埋入土中的进气管上每隔 10 cm 打两个 2 mm 的小孔, 并在其上铺一层丝绵, 然后装土距盆口 2 cm。进气管长 150 cm, 盆外约 30~40 cm, 与空气压缩机相连接, 每隔 2 d 通气 1 次, 根据空气压缩机上的气压表控制通气量。

本次试验于 2010 年 7 月 21 日播种育苗, 用 50 穴孔基质盘育苗, 8 月 12 日(四叶一心期)选取长势一致的幼苗, 定植于栽培盆中, 植株单干整枝, 其他管理措施均与田间相同, 于 11 月中旬结束试验。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株长势 在每个生育阶段按照不同的处理分别选取植株长势相当的 3 个重复, 分别测定番茄植株的株高、茎粗、叶面积指数。茎粗用千分尺测定植株基部的直径; 叶面积用叶面积指数仪测定。定植 20 d 后, 用 SPAD-502 便携式叶绿素仪(日本, Konica Minolta Sensing, INC)测量植株叶绿素, 每隔 10

收稿日期: 2011-05-22

基金项目: “十二五”863 计划课题(2011AA100507); 农业转化资金项目(2010GB2G000470)

作者简介: 甲宗霞(1986—), 女, 山东肥城人, 硕士生, 主要从事灌溉理论与节水技术研究。E-mail: 308024988@163.com。

* 通讯作者: 牛文全(1972—), 男, 甘肃甘谷人, 副研究员, 博士, 主要从事灌溉理论与节水技术研究。E-mail: nwgq@vip.sina.com。

d 测定 1 次。

表 1 试验处理设计表
Table 1 The design of experiment treatments

处理 Treatment	土壤水分 Soil moisture	通气系数 Ventilation coefficient	处理 Treatment	土壤水分 Soil moisture	通气系数 Ventilation coefficient	处理 Treatment	土壤水分 Soil moisture	通气系数 Ventilation coefficient
LT4	低水水平 Low water level	1.6	MT4	中水水平 Normal water level	1.6	HT4	高水水平 High water level	1.6
LT3		1.2	MT3		1.2	HT3		1.2
LT2		0.8	MT2		0.8	HT2		0.8
LT1		0.4	MT1		0.4	HT1		0.4
LT0		0	MT0		0	HT0		0

注:L;低水水平;M;中水水平;H;高水水平。T1;通气系数为 0.4;T2;通气系数为 0.8;T3;通气系数为 1.2;T4;通气系数为 1.6;T0;不通气即通气系数为 0。

Note: L; Low water level; M; Normal water level; H; High water level. T1; 0.4 tube ventilation volume of 50% porosity of soil; T2; 0.8 tube ventilation volume of 50% porosity of soil; T3; 1.2 tube ventilation volume of 50% porosity of soil; T4; 1.6 tube ventilation volume of 50% porosity of soil; T0; No ventilation.

在开花期、结果盛期和结果后期三个生育阶段末,采取新鲜植株,将其地上和地下部分分开分别装入袋中,于 105℃下杀青 30 min,75℃烘干至恒重,分别测其干物质量,并计算其根冠比。

以上每项指标测定均重复 3 次,取平均值。
1.3.2 根系活力 在开花期、结果盛期和结果后期三个生育阶段末取植株鲜样,将根部冲洗干净,取新鲜根尖 0.5 g,采用 TTC 法测定植株根系活力^[19]。

果实成熟后分批采摘计量,结果末期破坏植株之前摘取植株上的所有果实计量。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件处理数据,用 DPS 7.05 统计软件的 Duncan 新复极差法对各指标进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同根际通气处理对盆栽番茄生长指标的影响

2.1.1 对番茄株高的影响 表 2 显示不同通气处理对番茄株高日增长率的影响。从表 2 可知,通气处理的株高增长率比未通气处理有提高。相同土壤水分水平下不同通气量对番茄株高生长影响较大,随着通气量的增加株高日增长率呈先增大后减小趋势,说明过多的通气量并不利于植株的生长。其中通气系数为 0.8、1.2 的通气量水平对番茄株高日增长率影响显著。整个生育期相同通气量下 M(中水)水平的株高日增长率明显高于其它两个土壤水分水平。开花结果期各处理之间的株高日增长率差异显著,说明通气与水分相结合对番茄株高生长的作用效果在此时期较明显。苗期番茄日增长率均达到最

大,其中以中水水平下,通气量系数分别为 0.8、1.2 的处理效果最佳,即 MT2, MT3(中水水平,通气系数分别为 0.8, 1.2)的株高日增长率分别达到 3.79 cm/d 和 3.67 cm/d,分别比 MT0(中水水平,通气系数为 0)增长 14.34%、10.76%。说明适宜的水气结合有助于株高的生长。

表 2 不同处理对番茄株高日增长率的影响

Table 2 Effects of different rhizosphere aeration treatments on growth rate

处理 Treatment	株高日增长率 Growth rate			
	苗期 Seedling stage	开花期 Flowering stage	结果盛期 Fruit setting stage	结果后期 Latter stage
LT4	3.41abc	2.03abcd	1.50	1.18abc
LT3	3.56ab	2.13ab	1.57b	1.23ab
LT2	3.62ab	2.14ab	1.56b	1.22ab
LT1	3.37abc	2.01abcd	1.47bcd	1.15abc
LT0	3.28bc	1.93bcd	1.39bcd	1.09bc
MT4	3.37abc	2.02abcd	1.55b	1.22ab
MT3	3.67ab	2.25a	1.72a	1.36a
MT2	3.79a	2.25a	1.69a	1.32a
MT1	3.52ab	2.14ab	1.63a	1.28a
MT0	3.31bc	2.00abcd	1.53bc	1.20abc
HT4	2.97cd	1.79cd	1.34bcd	1.05bc
HT3	3.29bc	2.01abc	1.52bc	1.19abc
HT2	3.42abc	2.10ab	1.58b	1.24ab
HT1	3.31bc	2.01abcd	1.52bc	1.19abc
HT0	3.27bcd	1.94bcd	1.46bcd	1.14abc

注:同列数据后不同小字母分别表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different small letters after the figures in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level, and they are the same in the follows.

2.1.2 对番茄茎粗和叶面积指数的影响 表 3 为 根际通气处理对番茄茎粗和叶面积指数的影响。

表 3 不同处理对番茄茎粗和叶面积指数(LAI)的影响
Table 3 Effects of different rhizosphere aeration treatments on stem diameter and LAI of tomato

处理 Treatment	茎粗 Stem diameter(mm)				叶面积指数 LAI (cm ² /cm ²)			
	苗期 Seedling stage	开花期 Flowering stage	结果盛期 Fruit setting stage	结果后期 Latter stage	苗期 Seedling stage	开花期 Flowering stage	结果盛期 Fruit setting stage	结果后期 Latter stage
LT4	7.14E	7.23FGH	7.41H	7.87G	0.98GH	1.06FG	1.13H	0.70G
LT3	7.69C	7.91D	8.31D	9.38C	1.17ABC	1.27C	1.34E	1.03C
LT2	7.95B	8.34AB	9.08B	9.67B	1.20AB	1.32ABC	1.43BC	1.23AB
LT1	7.43D	7.70E	8.09E	8.68D	1.02EFGH	1.11F	1.28F	0.97CD
LT0	6.95EFG	7.29FG	7.75F	8.14F	0.95H	1.03G	1.10H	0.77FG
MT4	7.43D	7.75DE	7.87F	8.12F	1.04EFG	1.14EF	1.22G	0.77FG
MT3	7.86BC	8.09C	8.58C	9.60B	1.21AB	1.31ABC	1.42BC	1.17B
MT2	8.20A	8.47A	9.28A	9.97A	1.23A	1.37A	1.48A	1.28A
MT1	7.49D	7.76DE	8.03E	8.67D	1.13BCD	1.19DE	1.30F	1.14B
MT0	7.05EF	7.38F	7.75F	8.14F	1.00FGH	1.09FG	1.20G	0.83EF
HT4	6.86FG	7.19GH	7.79F	7.97G	1.10CDE	1.13EF	1.19G	0.84EF
HT3	7.47D	7.83DE	8.54C	8.73D	1.19AB	1.29BC	1.39CD	0.99C
HT2	7.76BC	8.19BC	9.03B	9.36C	1.25A	1.35AB	1.45B	1.19AB
HT1	7.33D	7.68E	8.03E	8.42E	1.18ABC	1.25CD	1.38D	0.94CD
HT0	6.81G	7.08H	7.62G	7.95G	1.08DEF	1.09FG	1.26F	0.89DE

注:同列数据后不同大写字母分别表示处理间差异极显著($P<0.01$),下同。
Note: Different capital letters after the figures in the same column mean significant difference among treatments at 0.01 level, and they are the same in the follows.

从表 3 中可知,整个生长过程中,番茄直径均呈增长趋势。通过对各个生育阶段番茄直径的显著性分析可知,整个生育期中,相同土壤水分水平下,通气处理对番茄直径生长的影响均达到极显著水平,其中 MT2 处理番茄直径(9.97 mm)比 MT0(8.14 mm)增长了 22.39%;LT2(低水水平,通气系数为 0.8)处理番茄直径(9.67 mm)比 LT0(低水水平,通气系数为 0)增长了 18.79%;HT2(高水水平,通气系数为 0.8)处理番茄直径(9.36 mm)比 HT0(高水水平,通气系数为 0)增长了 17.74%。相同通气水平下,苗期和开花期,土壤水分对番茄直径生长的影响达到极显著水平;结果盛期,土壤水分对番茄茎粗的影响达到显著水平;结果末期,番茄直径的生长受土壤水分的影响较小。其中 MT2 处理番茄直径分别比 LT2 和 HT2 处理增加 3.13%、6.55%。另外,相同土壤水分下,T4(通气系数为 1.6)处理番茄直径与未通气处理差异不明显,这可能是由于开花期过后,过多的通气量阻碍了番茄根系的生长及其对水分、养分的吸收,进而影响了番茄直径的生长。

由表 3 还可知,整个生育期番茄叶面积指数呈单峰型生长。除苗期外,不同处理对番茄叶面积指数的影响均达到极显著水平,其中 MT2 的叶面积指

数最大,LT0 最小。前三个生育阶段,相同通气量情况下,番茄叶面积指数会随着土壤水分湿度的增加而增大,而结果后期,土壤水分对番茄叶面积的影响相对较小。相同土壤水分水平下,除苗期外,通气处理对叶面积指数的影响均达到极显著水平,影响趋势为 T2(通气量系数为 0.8)>T3(通气量系数为 1.2)>T1(通气量系数为 0.4)>T0(通气量系数为 0);而 T4 与 T0 处理的叶面积指数几乎没有差异,这与通气处理对番茄直径生长的影响相同,结果后期 T0 处理的叶面积指数甚至略高于 T4 处理。结果盛期,MT2 的番茄叶面积指数达最大,为 1.48 cm²/cm²,比 MT0(1.20 cm²/cm²)增长了 23.95%,比 HT2(1.45 cm²/cm²)和 LT2(1.43 cm²/cm²)分别增长 2.30%和 3.97%。说明适宜的通气量有利于番茄叶面积指数的增加;MT2、MT3 的叶面积指数比较大,故适宜的水气结合可以有效促进叶面积生长。

2.1.3 对番茄叶片叶绿素含量的影响 表 4 为根际通气处理对番茄叶绿素含量的影响。由表 4 知,整个生育期相同土壤水分水平下,不同通气量对番茄叶绿素含量的影响达显著水平,与番茄株高增长率变化一样,叶绿素含量随着通气量的增多也呈先增加后减少趋势。定植 40 d 时,各处理的叶绿素含

量均达到最大,其中 MT² 的叶绿素含量最大,为 64.32 mg/g;LT² 次之,为 64.18 mg/g;LT⁰ 的叶绿素含量最小,为 48.60 mg/g。MT² 的叶绿素含量比 LT⁰ 和 MT⁰ (49.48 mg/g) 分别增加了 32.34% 和 29.98%;但比 LT² 和 HT² (63.68 mg/g) 分别增加了 0.21% 和 0.99%。说明通气处理能显著增加番茄叶绿素含量,有利于其叶片进行光合作用,能促进番茄植株生长发育,可能促进了株高、茎粗的生长。

2.2 对番茄根系生长的影响

2.2.1 对根系活力的影响 由表 5 可知,整个生长过程中,相同土壤水分水平下,除 T⁴ 处理外,不同通气处理对番茄根系活力影响强度的顺序是 T²>T³>T¹>T⁰,这与其对番茄茎粗和叶面积指数的影响变化规律相同。且除 T⁴ 处理外,各通气处理对番茄根系活力的影响均达到显著水平。开花期,MT² 的番茄根系活力最大,为 11.863 mg/(g·h),LT² 次之,为 11.221 mg/(g·h),分别比 MT⁰ (7.394 mg/(g·h)) 和 LT⁰ (7.172 mg/(g·h)) 增大 60.45%、56.46%。结果盛期,各处理番茄根系活力均达到最大,其中 MT² 根系活力最大,为 13.440 mg/(g·h),LT² 次之,为 12.914 mg/(g·h),分别比 MT⁰ (8.319 mg/(g·h)) 和 LT⁰ (8.201 mg/(g·h)) 增大 61.55%、57.47%;此时 MT² 根系活力分别比 LT² 和 HT² (12.266 mg/(g·h)) 处理增加了 4.07%、9.57%。进入结果后期,番茄根系活力随着根系的衰老而减弱,各处理之间的根系活力差异不显著。说明根际通气处理能够显著增强

番茄根系活力,增大根系的吸收能力,促进番茄地上部分生长。而且 M 水平下,通气处理对番茄根系活力的影响相对比较大,说明适宜的水气结合可以有效促进番茄根系的生长,从而促进了番茄植株株高、茎粗、叶面积的生长。

表 4 不同处理对番茄叶片叶绿素含量的影响(mg/g)

处理 Treatment	定植天数(d) Days after transplanting				
	20	30	40	50	60
LT ⁴	53.28 ^{def}	54.67 ^g	55.07 ^d	54.25 ^f	47.53 ^g
LT ³	58.15 ^b	61.00 ^d	61.08 ^b	59.90 ^c	56.23 ^c
LT ²	63.32 ^a	63.37 ^{ab}	64.18 ^a	63.10 ^a	58.75 ^b
LT ¹	55.42 ^{cd}	56.53 ^{ef}	57.93 ^c	57.08 ^d	52.23 ^e
LT ⁰	46.97 ^g	48.68 ^h	48.60 ^e	47.78 ^h	44.27 ^h
MT ⁴	52.17 ^{ef}	55.45 ^{fg}	55.77 ^d	55.27 ^e	49.12 ^f
MT ³	59.38 ^b	61.10 ^{cd}	61.72 ^b	61.68 ^b	59.03 ^b
MT ²	64.28 ^a	63.82 ^a	64.32 ^a	63.37 ^a	60.87 ^a
MT ¹	55.55 ^{cd}	57.27 ^e	57.63 ^c	56.93 ^d	54.80 ^d
MT ⁰	47.80 ^g	49.00 ^h	49.48 ^e	49.02 ^g	47.20 ^g
HT ⁴	51.73 ^f	55.07 ^g	55.70 ^d	55.30 ^e	47.43 ^g
HT ³	57.67 ^{bc}	59.83 ^d	61.27 ^b	61.27 ^b	56.27 ^c
HT ²	62.77 ^a	62.33 ^{bc}	63.68 ^a	63.17 ^a	58.42 ^b
HT ¹	54.40 ^{de}	57.08 ^e	57.17 ^c	57.02 ^d	54.18 ^d
HT ⁰	46.65 ^g	48.88 ^h	49.28 ^e	49.05 ^g	46.47 ^g

表 5 不同处理对番茄根系生长的影响

处理 Treatment	根系活力 Root activity[mg/(g·h)]			根冠比 Root-shoot ratio(%)		
	开花期 Flowering stage	结果盛期 Fruit setting stage	结果后期 Latter stage	开花期 Flowering stage	结果盛期 Fruit setting stage	结果后期 Latter stage
LT ⁴	6.762 ^h	7.333 ^g	5.894 ^g	7.89 ^a	6.50 ^{abc}	6.42 ^{ab}
LT ³	9.897 ^d	10.364 ^d	6.248 ^{defg}	7.87 ^a	6.51 ^{ab}	6.50 ^a
LT ²	11.221 ^b	12.914 ^b	6.810 ^b	8.15 ^a	6.82 ^a	6.71 ^a
LT ¹	8.283 ^e	9.608 ^e	5.997 ^{efg}	7.24 ^b	6.47 ^{abc}	6.32 ^{ab}
LT ⁰	7.172 ^g	8.201 ^f	5.921 ^{fg}	6.87 ^{bc}	6.36 ^{abc}	6.12 ^{abcd}
MT ⁴	6.786 ^h	7.304 ^g	6.157 ^{defg}	6.45 ^{cd}	6.34 ^{abc}	5.70 ^{cd}
MT ³	10.871 ^c	12.134 ^c	6.774 ^b	6.34 ^{cd}	6.74 ^{ab}	6.15 ^{abcd}
MT ²	11.863 ^a	13.440 ^a	7.381 ^a	6.50 ^{cd}	6.55 ^{abc}	6.39 ^{ab}
MT ¹	8.367 ^e	10.561 ^d	6.541 ^{bcd}	6.05 ^d	6.33 ^{abc}	6.34 ^{ab}
MT ⁰	7.394 ^f	8.319 ^f	6.291 ^{cdef}	6.26 ^d	6.11 ^{bc}	6.28 ^{ab}
HT ⁴	6.730 ^h	7.388 ^g	6.295 ^{cdef}	6.04 ^d	5.43 ^d	5.68 ^d
HT ³	8.321 ^e	10.281 ^d	6.665 ^{bc}	6.10 ^d	6.57 ^{abc}	6.21 ^{abcd}
HT ²	10.064 ^d	12.266 ^c	6.760 ^b	6.18 ^d	6.67 ^{abc}	6.54 ^a
HT ¹	7.279 ^{fg}	9.288 ^e	6.340 ^{cde}	5.92 ^d	6.61 ^{abc}	6.27 ^{abc}
HT ⁰	6.708 ^h	8.129 ^f	6.213 ^{defg}	5.90 ^d	6.04 ^c	5.84 ^{bcd}

2.2.2 对根冠比的影响 本试验采用地下部干质量与地上部干质量的比值作为番茄根冠比。由表 5 知,相同土壤水分状况下,T2、T3(即通气量系数为 0.8、1.2)处理的根冠比相对较大,其他处理之间差异不显著;相同通气量水平下,L(低水)处理的根冠比相对较大。开花期,L 水平下,各通气处理的根冠比均比较大,其中 LT2 的根冠比最大,是 8.15%,LT4 次之,是 7.89%,分别比根冠比最小处理 LT0(6.87%)增大 18.65%、14.86%;而 M 和 H(高水)水平下,各处理的根冠比相对较小。进入结果盛期后,L 水平下,各处理的根冠比开始下降,M 和 H 水平下,各处理的根冠比有所升高,但是幅度较小;相同通气量水平下,三种土壤水分处理之间的根冠比差异较小。结果后期,番茄植株开始枯萎,根系生长也趋于停止,通气量和土壤水分处理对番茄根冠比影响不显著。这可能是因为开花坐果期,番茄需要稳固根系,使根系吸收更多的水分、养分,以保证番茄果实的生长,所以根系生长旺盛,根冠比较大;而结果盛期之后,番茄以果实生长为主,故根冠比较小。

2.3 对番茄水分利用率的影响

定植时每盆浇灌 2 L 保苗水,在土壤水分湿度达到田间持水量的 60%~70%时,通过称重法来控制灌水量。果实成熟后,每株番茄所有果实鲜重与总耗水量的比值,其分析结果见表 6。

表 6 不同处理下番茄水分利用率比较
Table 6 Water use efficiency of tomato with different rhizosphere aeration treatments

处理 Treatment	耗水量 Irrigation water (m ³)	果实鲜重 Fruit fresh weight (kg/plant)	水分利用率 Water use efficiency (kg/m ³)
LT4	0.01658	0.59151	35.69BC
LT3	0.01730	0.62707	36.24AB
LT2	0.01949	0.72662	37.28A
LT1	0.01976	0.59244	29.98CDE
LT0	0.01712	0.58960	34.44C
MT4	0.02156	0.62281	28.89DE
MT3	0.02164	0.74384	34.37C
MT2	0.02203	0.75975	34.48C
MT1	0.02037	0.69371	34.06CD
MT0	0.02101	0.61928	29.48CDE
HT4	0.02342	0.60056	25.64F
HT3	0.02515	0.71515	28.44DE
HT2	0.02625	0.74228	28.27DE
HT1	0.02419	0.63685	26.32EF
HT0	0.02330	0.61346	26.32EF

由表 6 知,相同通气量处理下 L(低水)水平水分利用率相对比较高,LT2、LT3(低水水平,通气量系数分别为 0.8、1.2)处理的水分利用率分别比 MT2 高 8.13%、5.10%,分别比 HT2 高 31.86%、28.16%。相同土壤水分水平下,不同通气量处理的番茄植株水分利用率的高低顺序,除 L 水平下是 T2>T3>T4>T1>T0,其余两个土壤水分水平下均为 T2>T3>T1>T0>T4。造成这种差异的原因可能是,L 水平的土壤水分较低,故土壤中可容纳的气体较多,番茄根系能够有充足的氧气来促进其自身的代谢作用,以更好地吸收利用土壤中的水分;而由于其他两种土壤水分水平所含水分较高,土壤孔隙中的气体有限,过多的气体反而会不利于根系对水分的吸收。但是三种土壤水分下,适量的气体都能够促进番茄根系吸收水分,其中,LT2、LT3 处理的水分利用率分别比 LT0 提高 8.26%、5.22%;MT2、MT3(中水水平,通气量系数分别为 0.8、1.2)处理分别比 MT0 提高 16.97%、16.61%;HT2、HT3(高水水平,通气量系数分别为 0.8、1.2)处理分别比 HT0 提高 7.41%、8.04%。由表 6 分析知,M(中水)水平下 T2、T3(通气量系数分别为 0.8、1.2)处理的水分利用率都比较高,说明在适宜的土壤水分与通气量相结合可以提高番茄的水分利用率。

3 讨 论

3.1 根际不同通气量处理下番茄植株生长和根系生长及活性的变化

本试验中相同土壤水分下,不同通气量处理与对照相比能不同程度地促进番茄株高、茎粗、叶面积的生长以及提高叶片叶绿素含量,这与赵旭^[12],孙周平^[9,13]等人对番茄和马铃薯的研究结果一致。根际适量的氧气浓度能促进作物植株的生长,过低或过高的氧气浓度都有可能抑制其生长,孙周平等^[8]曾经报道过,根际 O₂ 浓度在 20.35%~20.75%可以有效促进马铃薯叶片叶绿素含量的增加。本试验中 T2、T3(通气量系数分别为 0.8、1.2)处理与未通气处理相比能有效促进番茄植株株高、茎粗、叶面积的生长,增加叶片叶绿素含量。说明通气处理可能促进了光合作用的进行。由于叶绿素含量受氮素影响比较明显,所以是否因为通气处理促进了根系对土壤中氮素的吸收,从而使番茄叶片中叶绿素含量增加,还需要进一步试验证实。

作物根系的生长与地上部分的生长息息相关,两者之间既互相促进又相互影响。研究表明,相同土壤水分水平下,根际通气处理有利于植物根系的生长,且开花坐果期,通气处理的番茄根冠比较大,说明通气处理能促进前期番茄的营养生长,有利于稳固根系吸收能力,保证了后期番茄果实的生长发育。通气处理下的作物根系活力显著增强,其中 LT2,LT3,MT2,MT3,HT2,HT3(即在各种水分水平下,通气系数为 0.8 和 1.2 的处理)处理能显著增强番茄根系活力,促进根系生长,这与相关研究^[14,20,21]的结果一致。刘义玲等^[22]人也报道指出,过低的氧气浓度会显著抑制甜瓜根系及地上部分的生长。所以适量的通气量能有效促进番茄根系的生长。

3.2 根际不同通气量处理下番茄植株水分利用率的变化

本试验中水(M)水平下通气系数为 0.8、1.2 处理(T2、T3)的水分利用率相对比较高,所以适宜的通气量有助于提高水分利用率,过低的通气量可能无法满足根系的代谢作用,使其生长缓慢,对水分的吸收作用也比较弱;而过高的通气量可能会使空气充满土壤孔隙,使水分无法进入,造成根系无法吸收水分,使其水分利用率降低,致使根系和地上部分的生长受到阻碍。这与牛文全等^[14],刑书慧等^[23]对玉米和几种水培观赏植物的研究基本一致,这有可能是适宜的水气结合改善了根系生长的水气环境,通气处理打破了液相和气相界面,提高了植物根系环境的湿度,促进了根系对水分的吸收。

参 考 文 献:

[1] Bhattarai S P, Midmore D J, Pendergast L. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols[J]. *Irrigation Science*, 2008, 26: 439—450.

[2] Klepper B. Cotton root system responses to irrigation[J]. *Irrigation Science*, 1991, 12(3): 105—108.

[3] Nakano Y. Response of tomato root systems to environmental stress under soilless culture[J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2007, 41: 7—15.

[4] Pregitzer K S, Zak D R, Maziasz J, et al. Interactive effects atmospheric CO₂ and soil N availability on fine roots *Populus tremuloides* [J]. *Ecol Appl*, 2000, 10(1): 18—33.

[5] Chong S K, Boniak R, Indorante S, et al. Carbondioxide content in golf green rhizosphere[J]. *Crop Science*, 2004, 44: 1337—1340.

[6] 邱莉萍, 刘 军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 277—280.

[7] 孙周平, 李天来, 范文丽. 根际二氧化碳浓度对马铃薯植株生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2097—2101.

[8] 孙周平, 郭志敏, 王 贺. 根际通气性对马铃薯光合生理指标的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(3): 125—128.

[9] 孙周平, 郭志敏, 刘义玲. 不同通气方式对马铃薯根际通气状况和生长的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(4): 125—128.

[10] Arteca R N, Poovaiah B W. Absorption of CO₂ by potato root and its subsequent translocation [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 1982, 107(3): 398—401.

[11] 李 军, 李长辉, 刘喜才, 等. 土壤通气性对马铃薯产量的影响及其生理机制[J]. *作物学报*, 2004, 30(3): 279—283.

[12] 赵 旭, 李天来, 孙周平. 番茄基质通气栽培模式的效果[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 74—78.

[13] 孙周平, 张莹莹, 陈洪波, 等. 根区通气空间大小对设施番茄生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(3): 226—230.

[14] 牛文全, 郭 超. 根际土壤通透性对玉米水分和养分吸收的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(11): 2785—2791.

[15] 李天来, 陈红波, 孙周平, 等. 根际通气对基质气体、肥力及黄爪伤流液的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 301—305.

[16] 李胜利, 齐子杰, 王建辉, 等. 根际通气环境对盆栽黄瓜生长的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2008, 42(3): 280—283.

[17] 陈金平, 刘祖贵, 段爱旺, 等. 土壤水分对温室盆栽番茄叶片生理特性的影响及光合下降因子动态[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(9): 1589—1593.

[18] 张 敏, 蔡焕杰, 刘 杰, 等. 根系通气对温室甜瓜生长特性的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2010, 29(5): 19—22.

[19] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 56—124.

[20] 郭 超, 牛文全. 根际通气对盆栽玉米生长与根系活力的影响[J]. *中国农业生态学报*, 2010, 18(6): 1194—1198.

[21] 陈洪波, 李天来, 孙周平, 等. 根际通气对日光温室黄瓜栽培基质酶活性和养分含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1470—1474.

[22] 刘义玲, 李天来, 孙周平, 等. 根际低氧胁迫对网纹甜瓜生长、根呼吸代谢及抗氧化酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1439—1445.

[23] 邢书慧, 罗 健, 陈泳慧, 等. 通气对几种水培观赏植物生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(S): 36—40.

Effects of rhizosphere ventilation on the growth and water use efficiency of tomato

JIA Zong-xia¹, NIU Wen-quan^{1,2*}, ZHANG Xuan¹, FAN Wen-tao¹

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Aimed to explore proper moisture environment for the crop, under three kinds of soil moisture, five treatments of soil aeration (1.6, 1.2, 0.8, 0.4 and 0 tube ventilation quantity of 50% porosity of soil) were installed and the physiological indices of tomato and water use efficiency were studied. The results showed that the adequate combination of soil moisture and soil ventilation quantity could increase the plant growth, root vitality and water use efficiency markedly. Under 70%~80% field capacity and 0.8 tube soil ventilation quantity, the growth rate, stem diameter, LAI and chlorophyll content were 14.34%, 22.39%, 23.95% and 29.98% higher than the control respectively and the root vitality reached the highest value of 13.440 mg/(g·h), being 61.55% higher than that [8.319 mg/(g·h)] of the control. In this condition, the water use efficiency of tomato was 16.97% higher than the control.

Keywords: rhizosphere aeration; potted tomato; plant growth; root growth; water use efficiency

(上接第 17 页)

[14] Thomas H. Water use characteristics of *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. and *L. multiflorum* Lam. plants [J]. Annals of Botany, 1986, 57: 211—223.

[15] 齐广平,李辛村,张恩和.膜下滴灌不同灌水量对番茄冠层生长和产量的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(6):92—94.

[16] 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.

[17] 孔德杰,郑国宝,张源沛,等.不同灌水量对设施番茄产量和耗水规律的影响[J].长江蔬菜,2010,(24):45—48.

Effects of different irrigation levels and ventilation levels on indexes of tomato's last growth period

GE Cai-lian^{1,2}, CAI Huan-jie^{1*}, WANG Jian¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Exploration and Design Institute for Water Resources and Hydropower of Xinjiang Uygur Autonomous Region of Ministry of Water Resources, Xinjiang, Wulumuqi 830000, China)

Abstract: In order to study the effects of different irrigation levels and ventilation levels on some indexes of tomato, including morphological indexes, photosynthetic indexes, yield, quality and water use efficiency, with Fushan No.1 as material, we did an eight-level irrigation and ventilation experiment in greenhouse. The conclusion is that there is significant effect of different irrigation levels and ventilation levels on some indexes of tomato, including morphological indexes, photosynthetic indexes, yield, quality and water use efficiency. Under T² level, the yield and water use efficiency of tomato can reach a high level, being 7.28 kg/m² and 0.68 mmol/mol respectively. Under T⁸, the sugar, sugar/acid, hardness and soluble protein are high, being 83.47 g, 4.13%, 13.61, 3.77 and 0.28 μg/g respectively. The stem diameter is the maximum in T⁴, reaching 0.98 cm. The plant height is the maximum in T⁶, reaching 135.00 cm. Under the levels of T⁷ and T⁶, physiological indicators of tomato is high. T⁸ treatment can significantly increase the plant height and dry matter accumulation in shrub layer. At the same level of irrigation, oxygenated irrigation can significantly improve the quality, physiological and morphological indicators of tomato, but there is no significant effect on yield, water use efficiency and stem diameter.

Keywords: oxygenated irrigation; tomato; yield; quality; water use efficiency; photosynthetic indexes; morphological indexes