

根域限制对温室膜下滴灌网纹甜瓜 耗水特征与果实品质的影响

孟建^{1,2}, 刘胜尧³, 范凤翠^{3*}, 乜兰春^{1*}, 李燕⁴, 侯大山⁵, 王静², 韩江伟⁵
(1.河北农业大学园艺学院, 河北保定 071001; 2.河北省农业技术推广总站, 石家庄 050000;
3.河北省农林科学院农业信息与经济研究所, 石家庄 050051; 4.石家庄市农林科学研究院,
石家庄 050021; 5.石家庄市农业技术推广中心, 石家庄 050051)

摘要:【目的】利用根域限制技术调节温室网纹甜瓜生长及耗水特性, 研究适宜的根域限制方式和限根深度。【方法】以西州蜜25号为试材, 设置2种限根方式(纱网布和塑料布)和6种限根深度(10、20、30、40、50、60 cm)组合的根域限制处理, 研究了限根对温室膜下滴灌甜瓜耗水特性、干物质积累、果实产量和品质的影响。【结果】与常规种植相比, 纱网布限根对甜瓜植株干物质积累量、果实产量和果实外观品质影响不显著($P>0.05$); 塑料布限根显著降低了甜瓜植株干物质积累量、果实产量、果实横纵径和果形指数($P<0.05$)。适度根域限制显著提高了甜瓜的水分利用效率, 10 cm和20 cm纱网布限根甜瓜的水分利用效率分别比CK提高了10.90%和5.47%, 10 cm和20 cm塑料布限根甜瓜的水分利用效率分别比CK提高了8.06%和4.39%, 限根深度过深水分利用效率显著降低。限根显著影响了果实营养品质, 限根深度为10、20、30 cm的纱网布限根和限根深度为20、30、40 cm的塑料布限根提高了甜瓜果实可溶性总糖、可溶性固形物量和酸糖比。【结论】温室膜下滴灌条件下, 限根深度10~20 cm的纱网布限根对温室网纹甜瓜的营养生长和生殖生长影响不显著, 可提高水分利用效率和果实品质, 是适宜根域限制方式。

关键词: 网纹甜瓜; 根域限制; 水分利用效率; 品质; 膜下滴灌

中图分类号: S652.4

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2020645

OSID:



孟建, 刘胜尧, 范凤翠, 等. 根域限制对温室膜下滴灌网纹甜瓜耗水特征与果实品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(3): 56-62.

MENG Jian, LIU Shengyao, FAN Fengcui, et al. The Effects of Root-zone Restriction on Water Consumption and Fruit Quality of Greenhouse Muskmelon under Mulched Drip Irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(3): 55-62.

0 引言

【研究意义】根是作物发育的基础和中心, 影响根系生长的措施可对植株地上部生长和产量品质造成影响^[1], 常规设施栽培中, 过于庞大的根系会消耗大量光合产物和水分^[2], 连作障碍给有限耕地资源的高效利用和作物品质提高造成威胁。适度根系限制栽培可以有效克服常规设施蔬菜生产中存在的土壤盐渍化、连作障碍等问题, 减少肥料渗漏对地下水的污

染^[3], 提高作物产量和品质^[4-6]。但重度限根会降低作物干物质积累量^[7]、导致产量品质显著下降^[6]。作物耗水量与根系下扎深度密切相关^[8], 小定额高频灌较常规灌溉表层土壤含水率高, 深层根分布少, 根系所占空间小, 耗水量低, 土壤硝态氮积累量降低^[9], 水分利用效率提高^[10]。【研究进展】李素美等^[11]、崔晓明等^[12]、张亚如等^[13]采用网袋法对花生进行研究, 得出适宜的根际空间(限根深度 60 cm), 既能满足作物对氮、磷、钾的吸收, 保证作物足够的生长量, 又能减少冗余生长, 增加中前期开花结果数, 减少后期无效果针数量, 提高籽仁产量; 根土空间过小花生根系生长受阻, 水分养分吸收不足, 生物量和产量降低; 限根深度超过 60 cm 后, 冗余生长增加, 影响花生产量提高。师恺等^[14]采用营养液水培方式, 得出高度为 14 cm 尼龙网袋根系限制处理显著抑制了番茄根系生长。刘俊波等^[15]用塑料布设置隔根深度, 得出黄瓜和

收稿日期: 2020-11-17

基金项目: 河北省重点研发计划项目(19227407D); 河北省农林科学院科学技术研究与发展计划项目(2018090101); 河北省农林科学院财政项目(F16E02); 河北省农林科学院创新工程项目(2019-3-3-1); 河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队项目(HBCT2018030205)

作者简介: 孟建(1980-), 男, 研究员, 主要从事作物高效用水技术与蔬菜栽培生理研究, E-mail: jianmeng80@126.com

通信作者: 范凤翠(1971-), 女, 研究员, 主要从事水资源高效利用研究。E-mail: njsffc@163.com。乜兰春(1966-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事蔬菜生理生态及生长调控研究。E-mail: 13784960296@139.com

结球甘蓝的产量不显著降低的隔根深度分别为 10 cm 和 20 cm。【切入点】不同作物实现节水优质高产目标所需要的根际空间不同, 目前关于网纹甜瓜节水优质生产所需根际空间的研究仍未见报道。【拟解决的关键问题】利用深度不同的纱网布和塑料布限制网纹甜瓜根系生长空间, 研究限根方式和限根深度对甜瓜耗水特征、干物质积累量和果实产量品质的影响, 以期确定网纹甜瓜节水优质生产的灌溉湿润层提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2014 年 3 月在河北省农林科学院大河综合农业试验园区 (38°14'N、114°22'E) 进行。试验地区属温带半湿润大陆性季风气候区, 年均气温 13.3 °C, 年日照时间 1 776.9 h, 年均无霜期 205 d, 年均降水量 536 mm, 海拔 92 m。试验在下沉式日光温室内进行, 温室长 100 m, 宽度 7 m, 种植宽 6 m, 东西走向, 覆盖无滴聚乙烯薄膜。供试土壤为黏壤质洪积石灰性褐土, 0~100 cm 土壤体积质量 1.38 g/cm³, 田间持水率 22.1% (质量含水率), 地下水埋深大于 20 m。0~20 cm 土壤养分状况为: 有机质量 17.8 g/kg, 碱解氮量 81.7 mg/kg, 速效磷量 81.6 mg/kg, 速效钾量 109.2 mg/kg, pH 值 7.6。

1.2 试验材料

供试甜瓜品种为西州蜜 25 号, 穴盘基质育苗, 2014 年 2 月 17 日进行种子催芽, 2 月 19 日播种于 50 孔穴盘中。3 月 24 日幼苗长至 3 叶 1 心时定植于温室试验地垄上, 单蔓整枝, 第 10 节位子蔓留瓜, 每株留 1 个瓜, 20 节位打顶, 6 月 12 日收获。

1.3 试验设计

试验分别采用透水但根系不能穿透的 200 目纱网布设置不隔水限根处理 (N) 和不透水且根系不能穿透的塑料布设置隔水限根处理 (P)。每种限根方式各设置 6 种限根深度, 即设置距离土表 10、20、30、40、50、60 cm 纱网布隔层, 分别用 N1、N2、N3、N4、N5、N6 表示; 设置距离土表 10、20、30、40、50、60 cm 塑料布隔层, 分别用 P1、P2、P3、P4、P5、P6 表示; 同时设置常规种植处理 (CK), 共 13 个处理, 每个处理设 3 次重复, 共 39 个小区。每小区面积为 2.4 m×5.8 m=13.92 m², 随机区组设计。各处理分层挖土, 按照限根深度要求, 在底层铺设纱网布或塑料布, 然后不破坏原样土, 分层回填, 小区间用埋深 100 cm 的塑料布在定值槽两侧隔离防止水肥测渗, 夯实平整土体, 施肥翻耕起垄铺设滴灌管后, 覆膜待甜瓜定植。

试验田采用膜下滴灌灌溉方式。灌溉设备采用文丘里滴灌水肥一体化灌溉系统, 滴灌管直径 12 mm, 壁厚 0.6 mm, 额定流速 2 L/h, 滴头间距 30 cm。覆盖白色透光高压低密度聚乙烯地膜, 地膜厚度为 0.014 mm。等行种植, 行距为 80 cm, 垄宽为 30 cm, 甜瓜种植密度为 24 000 株/hm²。整地时施入腐熟鸡粪 30 000 kg/hm², 氮、磷、钾 (15-15-15) 复合肥 900 kg/hm², 甜瓜生育期间不追肥, 其他管理措施与常规种植相同。3 月 24 日、4 月 4 日、4 月 27 日、5 月 13 日、5 月 24 日分别灌水 23.0、23.0、16.5、16.5、16.5 mm, 总计 95.5 mm。

1.4 测定项目与方法

1) 土壤含水率的测定

采用取土烘干法测定。分别在甜瓜定植前和收获时, 每小区在滴灌线上 2 个滴头中间位置处^[16]各选 3 个点测定土壤含水率, 纱网布限根处理和 CK 取土深度为 0~60 cm, 塑料布限根处理取土深度为限根深度, 每 10 cm 土层为 1 层。

2) 作物耗水量的计算

作物生育期耗水量采用水量平衡法计算, 即:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P_0 + K - C, \quad (1)$$

式中: ET_{1-2} 为耗水量 (mm); i 为土层编号; n 为总土层数; γ_i 为第 i 层土壤体积质量 (g/cm³); H_i 为第 i 层土壤厚度 (cm); θ_{i1} 和 θ_{i2} 为第 i 层土壤时段初和时段末的含水率, 以占干土质量百分数计算; M 为时段内的灌水量 (mm); P_0 为有效降雨量 (mm), 由于是温室种植, 故此项为 0; K 为时段内的地下水补给量 (mm), 当地下水埋深大于 2.5 m 时, K 值可以不计, 此项为 0; C 为地表径流和渗漏量 (mm), 本试验采用滴灌方式进行灌溉, 且纱网布限根处理取土深度较深 (60 cm), 塑料布限根处理水分不能下移, 此项为 0。

3) 产量与干物质质量的测定

单果鲜质量由精度为 0.01 kg 的电子秤称量, 由单果鲜质量和小区面积换算单位面积产量。收获后分器官取样烘干, 测定叶片干质量、叶柄干质量、茎蔓干质量和果实干质量。上述测定项目数值, 每小区取长势均一的 10 株甜瓜的平均值。

4) 果实形态的测定

用精确度为 0.01 mm 的数显游标卡尺, 测量每个小区长势均一的 10 株甜瓜果实的横径和纵径。

5) 果实品质的测定

每小区随机选取 4 个果实, 每个果实采用四分法取 1 块果肉, 每小区 4 块果肉等量混合, 用榨汁机打成匀浆后测定品质。可溶性总糖量采用蒽酮试

剂法^[17]测定；可溶性固形物量采用 WYT-4 型手持折光测糖仪测定；可滴定酸量采用氢氧化钠滴定法（GB12293—90）测定；维生素 C（Vc）量采用 2,6-二氯酚靛酚钠滴定法^[17]测定；硝酸盐量采用紫外分光光度法^[20]测定。

6) 水分利用效率

水分利用效率计算式为：

$$WUE=Y/ET, \quad (2)$$

式中：WUE 为水分利用效率（kg/m³）；ET 为作物耗水量（m³/hm²）；Y 为甜瓜果实产量（kg/hm²）。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理，采用 SPASS 17.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 限根对甜瓜地上部干物质积累量的影响

表 1 为不同限根处理甜瓜地上部干物质质量。甜瓜收获期地上部干物质质量以 CK 为最高，限根处理间干物质质量随限根深度增加而呈增加趋势。纱网布限根的 6 个限根深度处理间及纱网布限根与 CK 间甜瓜地上部干物质质量差异不显著（ $P>0.05$ ）。塑料布限根对甜瓜地上部干物质质量具有显著抑制作用，但塑料布限根处理间差异不显著。与 CK 相比，塑料布限根甜瓜的地上部营养器官干物质质量和果实干物质质量分别降低了 10.43%~16.76%和 6.63%~10.65%，达显著水平（ $P<0.05$ ）。

表 1 不同限根处理甜瓜收获期地上部干物质质量

Table 1 Aboveground biomass of muskmelon under different root restriction treatments g/株

处理	叶片	叶柄	茎蔓	地上部 营养器官	果实
N1	75.10abcde	26.77a	26.33ab	128.20abcd	206.75abcd
N2	76.83abcd	26.80a	26.33ab	129.97abc	209.95abc
N3	78.13abc	27.03a	26.47ab	131.63ab	213.78ab
N4	78.27abc	27.00a	26.33ab	131.60ab	214.33a
N5	81.70a	27.03a	26.83a	135.57a	215.05a
N6	81.50a	26.88a	26.43ab	134.82a	215.41a
P1	64.57e	24.17b	23.53b	112.27e	192.61e
P2	65.63e	25.30ab	24.77ab	115.70e	196.52de
P3	66.77de	25.97ab	26.07ab	118.80cde	197.04cde
P4	66.63de	25.57ab	25.83ab	118.03de	198.26cde
P5	68.07cde	25.50ab	25.17ab	118.73cde	200.13cde
P6	69.83bcde	25.53ab	25.43ab	120.80bcde	201.27bcde
CK	79.97ab	27.87a	27.03a	134.87a	215.57a

注 表中同列不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

2.2 限根对甜瓜产量和水分利用效率的影响

限根对甜瓜产量和水分利用效率的影响见表 2。甜瓜产量以 CK 为最高。限根处理间，甜瓜产量和耗水量随限根深度增加而呈增加趋势，但限根深度对产量的影响不显著。与 CK 相比，纱网布限根甜瓜产量降低了 0.08%~4.10%，未达到显著水平；塑料布限根甜瓜产量显著降低了 6.63%~10.65%。耗水量随限根深度增加而增加，10~30 cm 纱网布和塑料布限根甜瓜耗水量分别比 CK 显著降低了 3.89%~13.53%和 6.24%~17.32%，40~60 cm 限根甜瓜耗水量与 CK 差异不显著。限根处理间，甜瓜水分利用效率随限根深度增加而降低，10 cm 纱网布限根和塑料布限根的水分利用效率分别比 CK 显著提高 10.90%和 8.06%。纱网布限根深度增加至 20 cm 以上，水分利用效率与 CK 差异不显著。P4、P5、P6 处理的水分利用效率显著低于 CK。

表 2 不同限根处理甜瓜的产量与水分利用效率

Table 2 Yields and WUE of the melon under different root under different root restriction treatments

处理	产量/(t hm ⁻²)	耗水量/mm	水分利用效率/(kg m ⁻³)
N1	38.17abcd	102.09ef	37.39a
N2	38.76abc	109.01cd	35.56bc
N3	39.47ab	113.46bc	34.79bcd
N4	39.57a	116.21a	34.05cd
N5	39.70a	118.30a	33.56cde
N6	39.77a	119.21a	33.36cde
P1	35.56e	97.61g	36.43ab
P2	36.28de	103.10de	35.19bc
P3	36.38cde	110.69bc	32.87def
P4	36.60cde	115.31ab	31.74fg
P5	36.95cde	120.92a	30.56g
P6	37.16bcde	119.18a	31.18fg
CK	39.80a	118.06a	33.71cde

表 3 不同限根处理甜瓜果实的外观品质

Table 3 Fruit appearance quality of muskmelon under different root restriction treatments

处理	果实横径/cm	果实纵径/cm	果形指数	单果鲜质量/g
N1	13.81abcd	17.75abc	1.29ab	1 590.38abcd
N2	13.85abcd	17.85ab	1.29ab	1 615.00abc
N3	13.88abcd	18.00a	1.30a	1 644.46ab
N4	13.94abc	18.02a	1.29ab	1 648.69a
N5	14.10ab	18.08a	1.28ab	1 654.23a
N6	14.16a	18.10a	1.28ab	1 657.00a
P1	13.53d	16.10e	1.19c	1 481.59e
P2	13.66cd	16.6de	1.21bc	1 511.76de
P3	13.75bcd	16.80cde	1.22abc	1 515.72cde
P4	13.75bcd	16.90bcde	1.23abc	1 525.05cde
P5	13.78bcd	17.00bcde	1.23abc	1 539.45cde
P6	13.78bcd	17.30abcd	1.26abc	1 548.27bcde
CK	14.16a	18.15a	1.28ab	1 658.28a

2.3 限根对甜瓜果实外观品质的影响

从表 3 可以看出，同一限根材料间比较，甜瓜果实横径、纵径和单果鲜质量均随着限根深度增加而增加。纱网布限根处理间及纱网布限根处理与 CK 之间果实外观品质指标差异不显著。与 CK 相比，塑料布限根显著降低了果实横径和单果鲜质量。P1 处理的果实纵径显著低于 P6 处理和 CK。

2.4 限根对甜瓜果实营养品质的影响

不同限根处理甜瓜果实品质特征如表 4 所示，适度限根可以提高甜瓜果实可溶性总糖、可溶性固形物量和糖酸比。与 CK 相比，N1、N3、P2、P3、P4 处

理甜瓜果实可溶性总糖量显著提高，除 N6 处理外其他限根处理甜瓜果实可溶性固形物量显著提高，N1、N2、N3、N4、N5 处理的果实可滴定酸量显著降低。纱网布限根处理间比较，果实可溶性总糖量和糖酸比随着限根深度增加而降低，可溶性固形物量随限根深度增加呈先增加后降低的趋势，以 N2 处理的可溶性固形物量为最高。塑料布限根处理间比较，果实可溶性总糖量、可溶性固形物量和糖酸比均随着限根深度增加呈现先增加后降低趋势，且均以 P3 处理为最高。可见，10~30 cm 纱网布限根和 20~40 cm 塑料布限根有利于甜瓜果实营养品质的提高。

表 4 不同限根处理甜瓜果实的营养品质

Table 4 Nutritional quality of muskmelon under different root restriction treatments

处理	可溶性总糖/%	可溶性固形物/%	硝酸盐/(mg kg ⁻¹)	可滴定酸/%	Vc/(mg 10 ⁻² g ⁻¹)	糖酸比
N1	11.88ab	12.00cd	389.66abc	0.12c	10.60ab	99.00
N2	11.58bc	12.60bc	412.38a	0.13bc	5.80fg	89.08
N3	11.73ab	12.30cd	389.94abc	0.12c	6.60defg	97.75
N4	11.00bc	12.30cd	362.80de	0.12c	4.70g	91.67
N5	10.71cd	12.10cd	361.77de	0.13bc	10.70ab	82.38
N6	10.56d	11.80de	402.50ab	0.16a	5.90efg	66.00
P1	11.20bc	12.50bc	344.33fg	0.15a	8.70bcde	74.67
P2	11.95ab	13.00ab	346.73fg	0.14ab	6.90defg	85.36
P3	12.46a	13.40a	339.22g	0.14ab	8.90bcd	89.00
P4	12.02ab	13.10ab	343.25fg	0.16a	11.80a	75.13
P5	10.99bc	12.90ab	379.19cd	0.16a	7.90cdef	68.69
P6	10.71cd	12.80ab	351.75ef	0.15a	10.80ab	71.67
CK	10.85cd	11.55e	384.04abc	0.15a	8.70bcde	72.33

3 讨 论

本研究表明，限根方式对甜瓜产量的影响不同，透水的纱网布限根对产量及生长影响不显著，而不透水的塑料布限根对产量及生长影响显著。纱网布限根对甜瓜植株地上部干物质积累、果实横纵径、单果鲜质量和产量影响不显著，与武衍等^[18]在西瓜无纺布限根上的研究结果一致，这与纱网布和无纺布都具有透水透气性有关。塑料布限根显著降低了甜瓜果实的横纵径、单果鲜质量和产量，且降幅随限根深度的变浅而增加。究其原因，塑料布限根后引起的根际环境或根系本身产生的变化（根际 O₂ 量降低^[19-20]、根系导水阻力增大^[21]等）可能是影响甜瓜生长的主要因素，谢恒星等^[22]研究表明，加氧滴灌可以提高膜下滴灌甜瓜果实产量、水分利用效率和果实可溶性总糖量。雷宏军等^[23-24]研究指出，与增氧滴灌相比，曝气可以改善土壤透气性，对作物生长、水分和养分利用的促进作用较为显著。

根域限制对不同作物生长的效应研究的结论不

同，这与维持不同限根作物产量不显著降低所需的根际空间大小不同有关。生育期长的葡萄、芒果，常规栽培根系庞大，易产生根系“冗余”，限根栽培后，根系生物量降低，根系“冗余”减轻或消失，分配到地上部的光合产物比例增加，有利于产量提高。舒海波^[25]研究表明，限根可以提高树龄较小桃树的水分利用效率，但对树龄偏大的桃树没有影响。也有研究指出，适度限根桃树受到抑制，但坐果率提高且同化物向果实中的分配增加，产量提高^[26]。本研究一株甜瓜植株只保留一个果实，不受坐果率影响，导致产量特征不同。而对于甜瓜等短生育期作物，根系生长时间短，产生“冗余”的可能性大为降低，限根后产量一般不能提高。樊怀福等^[5]研究认为，盆栽番茄单果鲜质量随根域容积降低而降低。对于果实数量较多的作物，适度限根后，坐果率与单果鲜质量可以相互调节，以降低限根对产量的影响。本研究表明，10 cm 限根深度甜瓜的水分利用效率显著提高，这与黄瓜^[27]和番茄^[28]等作物结果类似。

10~30 cm 纱网布限根和 20~40 cm 塑料布限根提

高了甜瓜果实可溶性总糖、可溶性固形物量和糖酸比,与前人研究得出的限根可以提高果实可溶性固形物量^[27,29]、可溶性糖量^[30]、酸糖比^[4],改善果实品质的结果一致。这与限根抑制了甜瓜植株的生长势,提高了光合产物向果实中转运的比例有关,从本研究中限根处理提高了果实干物质质量占植株干物质质量的比例上可以得到佐证。

一般认为蔬菜作物根系限制深度以20~30 cm为宜。研究表明,在纱网布限根条件下,限根深度10~20 cm是网纹甜瓜适宜限根深度范围,主要是因为此试验在温室内膜下滴灌条件下进行,表土水分变化较为和缓,不易造成表土含水率过低所致。同时还与甜瓜生育期较短,地表水分供应充足,水分引导根系浅层化分布有关。

4 结 论

1) 塑料布限根甜瓜收获期地上部营养器官干物质质量、果实干物质质量和果实鲜质量显著降低,而纱网布限根对其影响不显著。甜瓜水分利用效率随限根深度增加而降低。10 cm纱网布限根和塑料布限根水分利用效率分别比常规种植显著提高10.90%和8.06%,40~60 cm塑料布限根甜瓜水分利用效率比常规种植显著降低。

2) 10~30 cm纱网布限根和20~40 cm塑料布限根提高了甜瓜果实可溶性总糖和可溶性固形物量,但塑料布限根处理的甜瓜果实横径、纵径和单果鲜质量显著降低。10~30 cm纱网布限根是甜瓜果实外观品质和营养品质协同提高的限根方式。

3) 温室膜下滴灌条件下,限根深度为10~20 cm的纱网布限根方式,可以提高水分利用效率和果实营养品质,且果实产量和外观品质未受到显著影响,是适宜的根域限制方式。

参考文献:

- [1] MENG T Y, WEI H H, LI C, et al. Morphological and physiological traits of large-panicle rice varieties with high filled-grain percentage[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(8): 1 751-1 762.
- [2] 李话, 张大勇. 半干旱地区春小麦根系形态特征与生长冗余的初步研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 3-5.
- [3] 舒海波, 贺超兴, 张志斌, 等. 不同有机土栽培方式对温室番茄植株生长及产量和品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(6): 120-125.
SHU Haibo, HE Chaoxing, ZHANG Zhibin, et al. Effects of organic soils on growth, yield and quality of tomato in solar greenhouse[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(6): 120-125.
- [4] 王亚萍. 根际空间与水肥供给模式对基质培番茄生长及产量品质的

影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.

WANG Yaping. Effects of root space and fertigation mode on growth, yield and fruit quality of media cultivated tomato[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.

- [5] 樊怀福, 杜长霞, 朱祝军. 不同容积盆栽对樱桃番茄果实品质和叶片氮代谢影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(16): 150-154.
FAN Huaifu, DU Changxia, ZHU Zhujun. The effect of different cubage pot culture on fruit quality and leaf nitrogen metabolism of lycopersicon esculentum[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(16): 150-154.
- [6] 王伟娟, 黄远, 汪力威, 等. 根域容积对甜瓜生理特性、果实产量和品质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2013, 32(6): 27-31.
WANG Weijuan, HUANG Yuan, WANG Liwei, et al. Effects of root volume on physiological characteristics, fruit yield and quality of melon[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2013, 32(6): 27-31.
- [7] LIU A M, LATIMER J G. Root cell volume in the planter flat affects watermelon seedling development and fruit yield[J]. *HortScience*, 1995, 30(2): 242-246.
- [8] EHLERS W, HAMBLIN A P, TENNANT D, et al. Root system parameters determining water uptake of field crops[J]. *Irrigation Science*, 1991, 12(3): 115-124.
- [9] 王丽娟, 孙嘉星, 韩卫华, 等. 水肥减量对土壤硝态氮和番茄产量品质的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(3): 1-7.
WANG Lijuan, SUN Jiaxing, HAN Weihua, et al. The effects of reducing irrigation and fertilization on soil nitrate, yield and quality of greenhouse tomato[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(3): 1-7.
- [10] 冯广龙, 刘昌明. 人工控制土壤水分剖面调控根系分布的研究[J]. *地理学报*, 1997, 52(5): 461-469.
FENG Guanglong, LIU Changming. Studies on the control of soil water profile and root distribution[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1997, 52(5): 461-469.
- [11] 李素美, 张娜, 郭庆, 等. 根土空间对花生营养器官氮、磷、钾吸收积累变化的影响[J]. *华北农学报*, 2016, 31(2): 170-175.
LI Sumei, ZHANG Na, GUO Qing, et al. Effects of soil root-growing space on absorption and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in vegetative organs of peanut[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(2): 170-175.
- [12] 崔晓明, 张亚如, 张娜, 等. 根土空间对花生生长发育和产量的影响[J]. *华北农学报*, 2016, 31(3): 141-146.
CUI Xiaoming, ZHANG Yaru, ZHANG Na, et al. Effects of soil root-growing space on growth and yield of peanut[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(3): 141-146.
- [13] 张亚如, 张晓军, 王铭伦, 等. 根土空间对花生结荚期营养器官矿物质元素吸收积累与分配的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2017, 34(1): 1-4, 26.
ZHANG Yaru, ZHANG Xiaojun, WANG Minglun, et al. Effects of Soil

- root-growing space on vegetative organs absorption of mineral elements accumulation and Distribution of peanut in pod bearing stage[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2017, 34(1): 1-4, 26.
- [14] 师恺, 胡文海, 董德坤, 等. 根系限制对番茄幼苗生长、根系呼吸、ATPase 和 PPase 活性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 853-855.
- SHI Kai, HU Wenhai, DONG Dekun, et al. Effects of root restriction on plant growth, root respiration, activities of H^+ -ATPase and H^+ -PPase in tomato seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(4): 853-855.
- [15] 刘俊波. 不同根土空间对甘蓝和黄瓜生长的贡献率研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2014.
- LIU Junbo. The study of different root-soil space on vegetables growth contribution rate of the cabbage and cucumber[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014.
- [16] 刘浩. 温室番茄需水规律与优质高效灌溉指标研究[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2010.
- LIU Hao. Water requirement and optimal irrigation index for effective water use and high-quality of tomato in greenhouse[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- LI Hesheng. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [18] 武衍, 陈佩, 王灿磊, 等. 无纺布限根栽培对西瓜果实发育及其营养品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(2): 45-49.
- WU Yan, CHEN Pei, WANG Canlei, et al. Effect of nonwoven fabric root restriction on watermelon quality[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(2): 45-49.
- [19] 师恺. 果菜类蔬菜根系限制下能量代谢变化及其调控机制[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- SHI Kai. The changes of energy metabolism and its regulation in response to root restriction in fruit vegetable crops[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [20] 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): 1 439-1 445.
- LIU Yiling, LI Tianlai, SUN Zhouping, et al. Impacts of root-zone hypoxia stress on muskmelon growth, its root respiratory metabolism, and antioxidative enzyme activities[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1 439-1 445.
- [21] HAMEED M A, REID J B, ROWE R N. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill)[J]. Annals of Botany, 1987: 59:685-692.
- [22] 谢恒星, 吕海波, 高志勇, 等. 加氧灌溉下温室甜瓜生长、品质和产量特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12): 20-24.
- XIE Hengxing, LYU Haibo, GAO Zhiyong, et al. The growth, quality and yield of muskmelon under oxygation in greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(12): 20-24.
- [23] 雷宏军, 肖哲元, 张振华, 等. 水肥气耦合滴灌提高温室番茄土壤通气性和水氮利用[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 8-16.
- LEI Hongjun, XIAO Zheyuan, ZHANG Zhenhua, et al. Integrating drip fertigation with soil aeration to improve water and nitrogen use efficiency of greenhouse tomato[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(3): 8-16.
- [24] 雷宏军, 王露阳, 潘红卫, 等. 紫茄生长及养分利用对增氧地下滴灌的响应研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 8-14.
- LEI Hongjun, WANG Luyang, PAN Hongwei, et al. The efficacy of oxygenation in improving growth and nutrients use efficiency of greenhouse purple eggplant[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(3): 8-14.
- [25] 舒海波, 贺超兴, 王怀松, 等. 园艺作物限根栽培技术研究进展[J]. 农业科技通讯, 2009(4): 85-88.
- SHU Haibo, HE Chaoxing, WANG Huaisong, et al. Research advances of rooting-zone restricted technique in horticulture crops[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2009(4): 85-88.
- [26] 方金豹, 顾红, 陈锦永, 等. 根域限制对幼年桃树生长发育的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 779-785.
- FANG Jinbao, GU Hong, CHEN Jinyong, et al. Effects of restricted root volume on growth and development of young peach trees[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(4): 779-785.
- [27] 蔡箫, 韩浩章, 王晓立. 限根栽培对黄瓜初果期生长和光合特性的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(23): 54-55, 73.
- CAI Xiao, HAN Haozhang, WANG Xiaoli. Effects of root restriction on the growth and photosynthetic characteristics of cucumber in early fruiting[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2012, 18(23): 54-55, 73.
- [28] 张海, 李冬, 胡莹莹, 等. 栽培槽大小对日光温室架式栽培番茄生长发育、水肥利用和产量品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(8): 45-49.
- ZHANG Hai, LI Dong, HU Yingying, et al. Effect of trough volume on root absorption, fruit yield and quality of elevated cultured tomato in solar greenhouse[J]. China Vegetables, 2016(8): 45-49.
- [29] 葛均青, 于贤昌, 李建勇, 等. 限根程度对黄瓜生长及光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2004, 13(4): 174-178.
- GE Junqing, YU Xianchang, LI Jianyong, et al. Effect of root restriction on the growth and photosynthetic characteristics of cucumber[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2004, 13(4): 174-178.
- [30] KHARKINA T G, OTTOSEN C O, ROSENQVIST E. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants[J]. Physiologia Plantarum, 1999, 105(3): 434-441.

The Effects of Root-zone Restriction on Water Consumption and Fruit Quality of Greenhouse Muskmelon under Mulched Drip Irrigation

MENG Jian^{1,2}, LIU Shengyao³, FAN Fengcui^{3*}, NIE Lanchun^{1*}

LI Yan⁴, HOU Dashan⁵, WANG Jing², HAN Jiangwei⁵

(1. College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. Hebei Agricultural Technology Popularization Station, Shijiazhuang 050022, China; 3. Institute of Agricultural Information and Economic, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 4. Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050021, China; 5. Shijiazhuang Agriculture Technology and Popularization Center, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: **【Background】**Improvement in living standard has shifted the demand of people for foods from quantity to quality. Given that roots not only anchor crops but also take up nutrients from soil to sustain crops growth, it has been conjectured that managing root growth and development could be an effective way to improve food nutrition while in the meantime reducing agrichemicals leaching and mitigating soil salinization in irrigated fields. Root restriction is one of such technologies, but inappropriate root restriction could impede reproductive growth of the crops, thereby reducing dry matter accumulation and leading to a decline in yield and food quality. Efficacy of root restriction is thus crop-specific. **【Objective】**Taking muskmelon as an example, this paper aims to experimentally find an optimal root zone restriction that can constraint unnecessary root growth while in the meantime improving water use efficiency and fruit quality of the muskmelon. **【Method】** The experiment was conducted in a greenhouse and we used the cultivar Xizhoumi 25 as the model crop. Roots were restricted to grow by placing gauze or plastic mesh at a depth between 10~60 cm, with no root restriction as the control (CK). In each treatment, we measured the water consumption, dry matter accumulation, yield and fruit quality of the muskmelon. **【Result】** Compared with the CK, restricting root growth by the gauze mesh did not affect dry matter accumulation, yield and appearance of the fruit at significant level, as opposed to the plastic mesh that significantly reduced dry matter accumulation, yield, transverse and longitudinal size of the fruits, as well as fruit shape index. Placing the gauze mesh at depths of 10 cm and 20 cm increased water use efficiency by 10.90% and 5.47% respectively, while replacing the gauze mesh by plastic mesh increased the water use efficiency by 8.06% and 4.39% respectively. Burying either mesh too deep resulted in a significant decrease in water use efficiency, suggesting that the depth of the root restriction mesh had an impact on fruit nutrition. It was also found that placing the gauze mesh at depths of 10, 20 and 30 cm, or the plastic mesh at the depths of 20, 30 and 40 cm, significantly increased the contents of soluble sugar, soluble solids and acid sugar ratio of the fruits. **【Conclusion】** For muskmelon grown in greenhouse, placing a gauze mesh at a depth between 10~20 cm to restrict its root growth did not have a significant impact on its vegetative and reproductive growth but could effectively improve its water use efficiency and fruit quality.

Key words: muskmelon; root zone restriction; water use efficiency; fruit quality; mulched drip irrigation

责任编辑: 陆红飞