

基质配方和灌溉方式对生菜根系和产量的影响^{*}

刘志刚¹ 王纪章¹ 徐云峰¹ 李萍萍^{1,2}

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要:为筛选高产的生菜栽培基质配方及配套灌溉方式,根据滴灌和微喷灌水分在基质中的分布特点,研究了4种有机基质和2种灌溉方式下生菜产量和根长密度分布状况,分析了在滴灌和微喷灌条件下生菜根长密度剖面相对分布的异同,提出了生菜根长密度垂向分布模型及生菜产量和根长密度的关系模型。结果表明:滴灌处理在12 cm以下基质层含水率明显高于上层基质,微喷灌处理基质水分主要集中在15 cm以上基质层且水分分布较均匀。复配基质栽培生菜的根长密度比纯醋糟基质高27%,且在剖面的垂直分布随深度增加而递减;微喷灌下生菜根系集中于表层(0~6 cm),占71%以上,较滴灌有上移现象。复配基质栽培生菜产量比纯醋糟基质高10%。灌溉方式对生菜产量影响具有季节性,春季滴灌的生菜产量比微喷灌高22%以上,夏季滴灌的生菜产量比微喷灌低11%。选用复配基质进行栽培,春、夏季分别采用滴灌和微喷灌的方式最有利于生菜高产和根系的生长。

关键词:生菜 基质配方 滴灌 微喷灌 产量 根长密度

中图分类号: S275.5; S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0156-05

引言

基质栽培已成为现代化设施园艺的发展方向。醋糟基质是利用制醋糟渣经过发酵等工艺加工制作而成,目前已实现商品化生产并在多种设施园艺作物上应用^[1-3]。但是由于醋糟颗粒较粗,保水性较差^[4-5],与其他细小颗粒的基质合理配比以获得最佳的栽培效果成为一项重要的课题。

作物根长密度决定了根系吸收水分的能力,其生长和土壤水分密切相关^[6]。不同灌溉方式导致土壤水分分布不均匀,进而影响作物根长密度的生长和分布^[7-8]。虽然国内外学者对基质栽培、滴灌、喷灌情况下根长密度生长和分布的研究较多^[7,9-13],但综合不同基质配方和灌溉方式对生菜根长密度分布及产量影响的研究较少。

本文以生菜为对象,通过温室基质槽内栽培试验,进行4种栽培基质和2种灌溉方式对生菜根长密度分布和产量影响的研究,为生菜的高产高效栽培及精确灌溉提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

试验于2012年春季和夏季在江苏大学农业工

程研究院的玻璃温室中进行。

供试品种为意大利耐抽薹生菜,种植春、夏两茬。春茬于1月22日播种,3月13日移栽,4月20日收获。夏茬于4月10日播种,5月8日移栽,6月12日收获。

试验采用基质槽栽培,槽长17.5 m、宽0.8 m、深0.3 m,栽培密度为 9.33×10^3 株/hm²。试验设置4种栽培基质和2种灌溉方式共8个处理,随机排列。4个基质处理的配方及相应的物理性状如表1所示。灌溉处理为滴箭式滴灌和微喷灌方式,其中,滴箭流量为1 L/h,微喷灌流量为6 L/h,微喷灌半径为0.4 m。灌溉时间主要依据天气情况和基质体积含水率决定,当0~12 cm内的基质体积含水率低于该基质田间持水率50%时进行灌溉,滴灌和微喷灌的灌水量如表2所示。同一灌溉方式下各试验处理的灌溉量及栽培管理措施均相同。

1.2 样品采集及测定方法

1.2.1 根系样品采集

将长30 cm、内径20 cm的PVC管沿中心线纵向剖开,外围用胶带纸、铁丝固定,制成分离式采样器,以便于分层采集根系样品。为避免试验边际效应,选取栽培槽中段的生菜进行取样。定植后,每隔7 d采样一次,每次进行3个重复。取样时以生菜为

收稿日期: 2013-03-13 修回日期: 2013-05-27
^{*} 国家自然科学基金资助项目(31071327)和江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX12-0659)
作者简介: 刘志刚, 博士生, 主要从事农业环境信息检测及节水灌溉研究, E-mail: liuz. g@163. com
通讯作者: 李萍萍, 教授, 博士生导师, 主要从事设施农业与农业生态工程研究, E-mail: lipingping@ujs. edu. cn

表 1 基质处理及各基质物理特性
Tab.1 Physical properties for substrates

处理号	基质配比(体积比)	容积密度/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	持水孔隙度/%	大小孔隙比
T1	100% 醋糟	0.120	71.5	41.0	30.5	1.34
T2	75% 醋糟 + 25% 泥炭	0.159	74.1	28.2	45.9	0.61
T3	50% 醋糟 + 50% 泥炭	0.194	72.8	25.2	47.6	0.53
T4	50% 醋糟 + 25% 泥炭 + 25% 蛭石	0.161	80.1	28.8	51.3	0.56

表 2 生菜各处理灌水量
Tab.2 Irrigation quantity for different experimental treatments

灌溉方式	基质	各处理每次灌水量/m ³	灌溉次数	各处理总灌溉量/m ³
滴灌	T1、T2、T3、T4	0.098	13	1.27
微喷灌	T1、T2、T3、T4	0.096	9	0.86

中心,将采样器插入基质后整体移出,拆除采样器外部封禁,每 3 cm 深度一个样本,测量根区半径,并将样本用水冲洗,根据根系颜色和弹性剔除死根和其他杂质,再用吸水纸吸干根表面水分,测定鲜质量。样本生菜根系使用扫描仪(Epson Expression/STD1600 型)扫描成灰阶模式 TIF 图像文件,将获取的 TIF 图像文件用 WinRhizo 图像处理系统分析生菜根长密度^[14]。扫描后将样本根系放入干燥箱在 85℃ 干燥 48 h,称量并记录。

1.2.2 基质体积含水率测定

采用预先埋设好的 EC-5 型水分传感器每隔 1 h 测定基质体积含水率,直至基质含水率稳定(约 8~10 h)。滴灌情况下水分传感器横向距生菜基部 3 cm,微喷灌情况下水分传感器横向距生菜基部 12.5 cm,纵向基质层测定分别为 0~3、3~6、6~9、9~12、12~15、15~18 和 18~21 cm。

1.2.3 产量测定

沿基质表面割取生菜地上部分,去除黄叶,用水冲洗干净后用滤纸吸干,称鲜质量(精确到 0.01 g),平行取样 3 次,取其平均值。

2 结果与分析

2.1 不同处理对基质水分分布的影响

基质水分条件是生菜根系赖以生长的主要影响因素。不同栽培基质在滴灌和微喷灌方式下,第 1 次灌溉前和灌溉基质水分稳定后基质中水分分布情况如图 1 所示。由于各处理基质物理特性差异较大并且基质表层受外界条件影响较大,所以处理间差异较大。从图 1 可以看出,不同处理基质深度层次的含水率分布差异较大。滴灌形成的湿润体小、且基质孔隙大、保水能力差,灌溉水在重力作用下倾向向下运移,因此滴灌水分稳定后 12 cm 以下基质层含

水率明显高于上层基质,产生底层渗漏;微喷灌则相反,由于微喷头铺于地表,微喷灌水分稳定后基质含水率主要集中在 15 cm 以上基质层且水分分布较均匀,这种灌溉方式产生的底层渗透较少,可提高水分利用率。

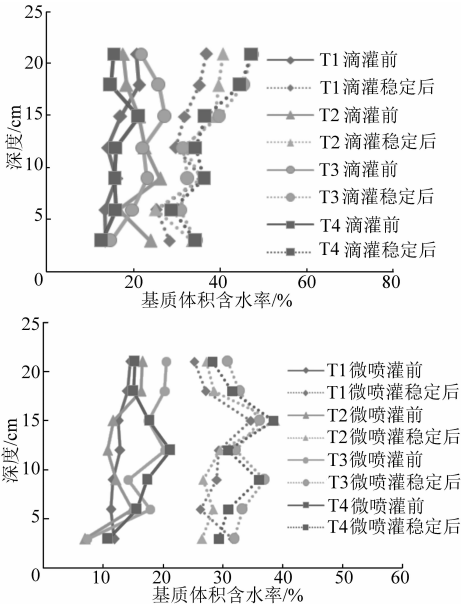


图 1 不同灌溉方式下基质体积含水率的垂直分布
Fig.1 Vertical distribution of substrates moisture content under different irrigations

2.2 不同处理下根长密度分布规律

由表 3 可知,基质配方和灌溉方式对生菜根长密度及其在各基质层分布均具有一定影响。复配基质(T2、T3、T4)持水孔隙度增加明显,大小孔隙比大幅降低(表 1),物理性状得到改善,有利于根系的生长,因此,复配基质根长密度较大且至少比纯基质 T1 高 27%。

灌溉方式通过基质内水分的分布情况来影响生菜根长密度及其分布。微喷灌处理生菜根长密度均比滴灌大(表 3),这可能由于滴灌形成的湿润区比微喷灌小,加之根系具有向水性,从而使根集中向湿润区生长,相对限制了根系发展。微喷灌灌水周期短,水分分布较均匀且主要分布在浅层,因而根长密度相对集中在基质表层,在 0~6 cm 范围内占总根长密度 71% 以上。而在滴灌情况下,由于基质孔隙大、表层干燥且在重力作用下

滴灌水分下移迅速,产生底层渗漏,同时由于根系的向水性,有利于根系向基质深层生长,故 6 ~ 12 cm 范围内滴灌生菜根长密度更大。可见,灌溉方式影响作物根长密度,这与 Seyed Hamid Ahmadi 等^[15]的研究观点一致。

表 3 采收时滴灌、微喷灌不同基质各层根长密度分布

Tab.3 Root length density distribution by substrates and irrigation system for each substrates layer					
基质	基质深度/cm	微喷灌		滴灌	
		根长密度 /(cm·cm ⁻³)	根长密度 占累计的 百分比/%	根长密度 /(cm·cm ⁻³)	根长密度 占累计的 百分比/%
T1	0 ~ 3	1.10	51.16	0.77	43.02
	3 ~ 6	0.74	34.42	0.35	19.55
	6 ~ 9	0.23	10.7	0.29	16.2
	9 ~ 12	0.08	3.72	0.38	21.23
	累计	2.15	100	1.79	100
T2	0 ~ 3	1.22	45.86	0.71	30.08
	3 ~ 6	0.92	34.59	0.97	41.1
	6 ~ 9	0.28	10.53	0.35	14.83
	9 ~ 12	0.24	9.02	0.32	13.99
	累计	2.66	100	2.36	100
T3	0 ~ 3	1.41	43.38	0.85	46.95
	3 ~ 6	0.94	28.92	0.49	27.07
	6 ~ 9	0.44	13.54	0.28	15.47
	9 ~ 12	0.46	14.15	0.19	10.50
	累计	3.25	100	1.81	100
T4	0 ~ 3	1.60	47.06	0.37	18.41
	3 ~ 6	0.95	27.94	1.03	51.24
	6 ~ 9	0.40	11.76	0.50	24.88
	9 ~ 12	0.45	13.24	0.11	5.47
	累计	3.40	100	2.01	100

从根长密度在剖面上的相对分布情况看,生菜采收时其根长密度主要集中在 0 ~ 6 cm 深度内,且剖面上的垂直分布随基质深度增加而递减(表 3)。经比较认为指数模型能较好表示基质剖面根长密度分布。指数模型为

$$R(z,t) = e^{a+bt}$$
 (1)

式中 z ——垂向深度,cm t ——时间,d
 $R(z,t)$ ——基质剖面根长密度分布函数,cm/cm³
 a 、 b ——与时间有关的系数

对式(1)两边取对数整理后,利用不同采样时期的所有数据作线性回归分析。通过方差分析,决定系数 R^2 均大于 0.87($P < 0.01$),表明高度显著,得出该方程是可行的。对采样时期的待定系数 a 、 b 进行线性回归,得到方程为

$$a = 0.038t - 1.268 \quad (R^2 = 0.85)$$

$$b = 0.014t - 0.584 \quad (R^2 = 0.83)$$

微喷灌情况下

$$a = 0.033t - 0.368 \quad (R^2 = 0.87)$$

$$b = 0.032t - 1.283 \quad (R^2 = 0.82)$$

2.3 不同处理对生菜产量的影响

图 2 是春、夏两季各试验处理的生菜产量。从图中可以看出,生菜产量具有明显的季节性差异。春季试验生菜鲜质量整体上高于夏季,这是因为生菜属于半耐寒性蔬菜,春季温室内温度和光照强度适中,光合作用速率高,生菜生长好;而夏季温室内平均温度达 30℃ 以上,光照较强,生菜出现徒长和提早拔节现象,生菜产量比春季偏低。

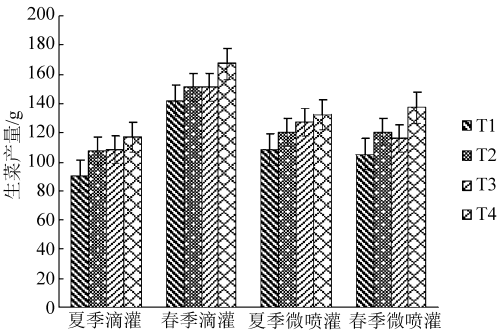


图 2 不同试验处理生菜产量
Fig. 2 Lettuce fresh weight for different treatments

不同基质栽培生菜的产量有明显差异,复配基质(T2、T3 和 T4)栽培生菜产量至少比纯醋糟基质 T1 高 10%,其中基质 T4 处理生菜产量最高,T2、T3 次之,T1 处理产量最小(图 2)。这主要受栽培基质物理特性的影响,醋糟与泥炭或蛭石复配后,大小孔隙比适中,保水能力较强,容积密度提高,适合生菜扎根和生长,所以比纯基质产量高。可见,醋糟基质通过复配后基质可以改善物理性状,更有利于生菜根系的固定与生长发育。

灌溉方式对生菜产量的影响具有明显的季节性。春季滴灌的生菜产量比微喷灌高 22% 以上,而夏季滴灌的生菜产量比微喷灌至少低 11%(图 2)。究其原因,一方面,春季环境条件适宜,滴灌完全满足生菜生长需求。而微喷灌的喷水压力导致生菜外层叶片倒伏,叶片与基质粘连,且春季水分蒸发量小,生菜叶片上长时间附着水滴,降低了叶片自身恢复能力,导致减产。另一方面,微喷灌能降低叶面温度,防止叶面高温损伤,而且能快速提高基质表层含水率,降低基质表层温度,保护浅层根系免受夏季高温影响,另外夏季温度高,水分散失快,有利于倒伏的生菜叶片自身恢复性能的充分发挥,降低减产损失。因此高温季节生菜基质栽培时以微喷灌为宜。

根据地上部分与地下部分生长的相关性,根系

生长也呈现相同的规律。生菜产量高则其根长密度也大。统计分析表明,生菜产量与根长密度之间呈幂函数关系,用方程表示为

$$Y = cR^d \tag{2}$$

式中 Y——生菜鲜质量,g
R——总根长密度,cm/cm³
c、d——回归系数

参数 c、d 如表 4 所示。

表 4 回归系数
Tab.4 Value of regressive coefficient

灌溉方式	参数		决定系数
	c	d	
滴灌	21.47	1.42	0.96
微喷灌	12.77	1.62	0.97

3 结论

(1)栽培基质配方对生菜产量和根长密度有较

大的影响。复配基质(T2、T3 和 T4)大小孔隙比适中,保水能力较强,适合生菜扎根和生长,栽培生菜产量至少比基质 T1 高 10%,根长密度至少比基质 T1 高 27%。

(2)灌溉方式对生菜产量和根长密度有较大的影响,且对生菜产量影响具有季节性。春季滴灌的生菜产量比微喷灌高 22% 以上,而夏季滴灌的生菜产量比微喷灌至少低 11%。微喷灌水多存储于 15 cm 以上基质层且水分分布较均匀,这种灌溉方式产生深层渗透较少,同滴灌相比,生菜根长密度分布有上移现象,滴灌条件下栽培基质在 12 cm 以下基质层含水量明显高于上层基质,生菜根长密度在基质中下层较微喷灌大。

(3)基质配方和灌溉方式对生菜产量和根长密度的影响分析,可知,应选用复配基质进行栽培,春、夏季分别采用滴灌和微喷灌的方式最有利于生菜高产和根系的生长。

参 考 文 献

1 刘超杰,郭世荣,束胜,等. 醋糟基质粉碎程度对辣椒幼苗生长和光合能力的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(1):330-334.
Liu Chaojie, Guo Shirong, Shu Sheng, et al. Effect of grinding extent of vinegar residue substrate on growth and photosynthesis of pepper seedling[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(1):330-334. (in Chinese)

2 朱咏莉,李萍萍,赵青松,等. 不同配比醋糟有机基质氮素有效性与黄瓜生长的关系[J]. 土壤通报,2011,42(5):1184-1188.
Zhu Yongli, Li Pingping, Zhao Qingsong, et al. Correlation between nitrogen availability of different proportions of vinegar residue-based container medium and cucumber growth [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011,42(5):1184-1188. (in Chinese)

3 高倍,李萍萍,赵青松,等. 施肥量对醋糟基质栽培生菜的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(1):95-98.
Gao Bei, Li Pingping, Zhao Qingsong, et al. Effect of different fertilization amount on lettuce grown with vinegar substrate[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(1):95-98. (in Chinese)

4 胡永光,李萍萍,袁俊杰,等. 醋糟基质添加不同配合物的蔬菜栽培效果研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(10):2896-2897,3019.
Hu Yongguang, Li Pingping, Yuan Junjie, et al. Cultivation effect of vegetables grown with vinegar residue substrate mixed with others [J]. Journal of Anhui Sci., 2007, 35(10):2896-2897,3019. (in Chinese)

5 李萍萍,胡永光,王继章,等. 醋糟和苇末有机质的理化性状及配套栽培技术研究[J]. 江苏农业科学,2010(2):207-209.
Li Pingping, Hu Yongguang, Wang Jizhang, et al. Study on physical-chemical properties of organic substrate containing vinegar residue and reed residue [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2010(2):207-209. (in Chinese)

6 Gao Yang, Duan Aiwang, Qiu Xinqiang, et al. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system[J]. Agricultural Water Management,2010,98(1):199-212.

7 高露,胡春胜,陈素英. 喷灌条件下冬小麦根系分布于土壤水分关系[J]. 农业工程学报,2006,27(1):5-8.
Gao Lu, Hu Chunsheng, Chen Suying. The relationship between soil water content and root distribution of winter wheat under sprinkling irrigation condition[J]. Transactions of the CSAE,2006,27(1):5-8. (in Chinese)

8 Salgado E, Cautin R. Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and microsprinkler irrigation[J]. Agricultural Water Managemen,2008,95:817-824.

9 方怡向,赵成义,申志强,等. 膜下滴灌条件下水分对棉花根系分布特征的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(5):196-200.
Fang Yixiang, Zhao Chengyi, Chuan Zhiqiang, et al. Root distribution characteristics of cotton in different drip irrigation amounts irrigation under mulched[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007,21(5):196-200. (in Chinese)

10 Sokalska D I, Haman D Z, Szweczuk A, et al. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system[J]. Agricultural Water Management, 2009,96:917-924.

11 Hu Xiaotang, Chen Hu, Wang Jing, et al. Effects of soil water content on cotton root growth and disribution under mulched drip irrigation[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(6):709-716.

12 Kashiwagi K, Krishnamurthy L, Crouch J H, et al. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea(*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress[J]. Field Crops Reaearch, 2006, 95:171-181.

13 Simone Radersma, Chin K Ong. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid kenya; implications for agroforestry models[J]. Forest Ecology and Management, 2004,188;77 – 89.

14 顾东祥,汤亮,曹卫星,等. 基于作物图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析[J]. 作物学报,2010,36(5): 810 – 817.

Gu Dongxiang, Tang Liang, Cao Weixing, et al. Quantitative analysis on root morphological characteristics based on image analysis method in rice[J]. Acta Agronomica Sinica,2010,36(5):810 – 817. (in Chinese)

15 Seyed Hamid Ahmadi, Finn Plauborg, Mathias N Andersen, et al. Effect of irrigation strategies and soils on field grown potatoes; root distribution[J]. Agricultural Water Management, 2011,98;1 280 – 1 290.

Lettuce Yield and Root Distribution in Substrates under Drip Irrigation and Micro-sprinkler Irrigation

Liu Zhigang¹ Wang Jizhang¹ Xu Yunfeng¹ Li Pingping^{1,2}

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The lettuce yield and root distribution were studied in four cultivation substrates under drip and micro-sprinkler irrigation. And the vertical distribution model, lettuce yield and root length density model, and the differences and the similarities of root density relative distribution on profile were analyzed. The obtained results showed that the substrate moisture mainly distributed in lower level and evenly in 0 ~ 15 cm respectively under drip irrigation and micro-sprinkler irrigation. The lettuce root length density cultivated in compound substrates were higher 27% at least than that in pure vinegar cultivation. More than 71% of the root system was mainly distributed in shallow substrates(0 ~ 6 cm) under micro-sprinkler irrigation. The lettuce yield cultivated in compound substrates were higher 10% at least than that in pure vinegar cultivation, and was higher 22% at least than micro-sprinkler irrigation in spring, while it was lower 11% at least in summer.

Key words: Lettuce Matrix formulation Drip irrigation Micro-sprinkler irrigation Yield Root length density