

不同种植密度对茴香菜苗生长及产量的影响

王晓军¹, 李晓慧², 刘 华³

(1. 宁夏农林科学院固原分院 宁夏固原 756000; 2. 宁夏回族自治区国土资源调查监测院 银川 750021;
3. 宁夏农林科学院林业与草地生态研究所 银川 750021)

摘要: 为了解宁夏海原县茴香苗菜生长适宜的种植密度, 以茴香品种民勤 2 号为试验材料, 采用单因素随机区组设计, 开展了 M1(低密度)、M2(中密度)和 M3(高密度)3 种植密度的大田试验, 分别测定 30 d 内茴香苗菜土壤含水量、叶绿素含量、株高、根系性状及单位面积鲜(干)产量。结果表明, 随着生长时间的推进, M1、M2 和 M3 茴香苗菜株高、主根长、单位面积鲜(干)产量均呈逐渐增加的趋势, 在出苗后 30 d, 茴香苗菜株高大小依次为 M2>M1>M3, 主根长度大小依次为 M2>M3>M1, 单位面积鲜(干)产量大小依次为 M2>M3>M1。综上所述, 民勤 2 号茴香苗菜目标鲜产量为 170~220 kg·667 m² 时, 民勤 2 号茴香苗菜生产的适宜密度是 5 万~7 万株·667 m²。

关键词: 茴香苗菜; 种植密度; 生长; 产量

中图分类号: S644.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)02-118-06

Effects of different planting densities on growth and yield of fennel seedling

WANG Xiaojun¹, LI Xiaohui², LIU Hua³

(1. Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Guyuan 756000, Ningxia, China; 2. Ningxia Survey and Monitor Institute of Land and Resources, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 3. Institute of Forestry and Grassland Ecology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: In order to find out the suitable planting density of fennel seedling in Haiyuan county, Ningxia, fennel cultivar Minqin No. 2 was used as the test material, and carried out three planting densities of M1 (low density), M2 (medium density) and M3 (high density). Soil water content, chlorophyll content, plant height, root character and fresh (dry) yield per unit area were measured within 30 days. The results showed that with the extension of growth time, the plant height, taproot length and fresh and dry yield per unit area of M1, M2 and M3 aniseed seedlings showed a gradual increase trend. Thirty days after emergence, the increase trend of plant height of aniseed seedlings was M2>M1>M3, and the increase trend of taproot length was M2>M3>M1. The growth trend of fresh and dry production per unit area was M2>M3>M1. In summary, when the target yield of Minqin No. 2 fennel seedling is 170-220 kg·667 m², the appropriate density of Minqin No. 2 fennel seedling is 50 000-70 000 plants·667 m².

Key words: Fennel seedling; Planting density; Growth; Yield

茴香(*Foeniculum vulgare* Mill.)是伞形科茴香属多年生植物, 原产地中海地区, 在我国有 1000 多年的栽培历史, 通常称作小茴香, 各省份均有栽培或野生分布^[1-2]。茴香也是一种重要的多用途芳香植物, 其叶和籽粒均有特殊的香味, 嫩叶通常作为蔬菜食用。研究表明, 茴香菜苗作为食用型蔬菜, 营养价值较高, 嫩叶和嫩茎中碳水化合物、蛋白质、粗纤维和脂肪含量丰富, 分别约为 22.0%、23.0%、

0.8%和 0.3%, 同时还有类胡萝卜素、钙、磷等营养元素和茴香酸、芥子酸、阿魏酸等 17 种有机酸^[3]。海原县是宁夏小茴香的传统种植区, 经过 20 多年的发展, 小茴香已成为当地农民增加收入的重要来源^[4]。近年来随着小茴香价格的逐渐上涨, 海原县小茴香的种植规模也不断扩大, 农民对小茴香种植技术的需求也逐渐增加^[5]。

种植密度是影响作物生长及产量的重要因素

收稿日期: 2023-05-10; 修回日期: 2023-12-08

基金项目: 宁夏回族自治区农业科技自主创新项目(NGSB-2021-16)

作者简介: 王晓军, 男, 助理研究员, 主要研究方向为植物营养与测土配方施肥。E-mail: 1449820235@qq.com

通信作者: 刘 华, 男, 研究员, 主要研究方向为中药材栽培。E-mail: 792483123@qq.com

之一。但合适的种植密度受不同气候、土壤、温度等环境因素的影响^[6-7]。研究表明,在干旱少雨的宁夏中部地区,高密度种植是一种可增加产量的管理方法,但过高或过低的种植密度都会影响植株的光合速率,进而影响碳素的合成、运转,导致群体发育不良,产量下降^[8-10],同时,高密度种植会消耗更多深层土壤水分,而这些水分很难被降雨和有限的灌溉所补充^[11]。这不仅增加了深层土壤干燥的风险,也增加了通过高密度种植获得高产的难度。因此,适宜的种植密度是提高茴香苗菜生物产量的重要方法与途径^[12-13]。

茴香作为菜、药、香料兼用型多用途植物,鲜嫩茎叶为食用蔬菜^[14],对于蔬菜而言,抽薹开花是其繁衍过程中的固有生物现象,但抽薹后会造食用价值下降^[15]。当前,关于茴香的研究主要集中在籽粒的化学成分^[16-17]、生物活性^[18-19]及药理作用^[20-21]等方面。目前海原县茴香种植密度约为4.5万株·667 m²,提高宁夏干旱地区种植密度对茴香苗菜生长与生物产量影响的研究鲜见报道。笔者以宁夏海原县茴香苗菜的生长与产量为研究目标,探讨不同种植密度对茴香苗菜的生理生长、生物性状及产量的影响,以期为宁夏海原县茴香苗菜生产及产业发展提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验地点位于宁夏中卫市海原县关桥乡张湾村,该区域位于宁夏中部干旱或半干旱地区,年平均有效降水量360 mm,年均蒸发量为2200 mm,有效降水区域差异较大,主要集中在7—8月份。试验土壤为砂质壤土,理化性质如下:速效氮含量(w,后同)10.61 mg·kg⁻¹,速效磷含量4.69 mg·kg⁻¹,速效钾含量95.68 mg·kg⁻¹,全氮含量1.14 g·kg⁻¹,全磷含量0.63 g·kg⁻¹,全钾含量18.2 g·kg⁻¹,有机质含量1.81 g·kg⁻¹,pH 8.61,试验地前茬种植压砂瓜。

1.2 材料

试验用茴香品种为民勤2号,由宁夏农林科学院林业与草地生态研究所提供。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,设M1(低密度):3.0万株·667 m²,M2(中密度):5.0万株·667 m²,M3(高密度):7.0万株·667 m²。小区长10.0 m,宽9.0 m,面积为90.0 m²,3次重复,共9个小区。试验于2021年4月2日利用机械进行播种,播种深度为3.5 cm,

行距为25.0 cm,4月28日出苗,9月25日收获。于出苗后5 d(5月3日)、10 d(5月8日)、15 d(5月13日)、20 d(5月18日)、25 d(5月23日)、30 d(5月28日)分别进行茴香苗菜性状测定和样品采集。试验材料种植前底肥一次性施入磷酸二铵(含P₂O₅ 53.8%,含N 21.2%)42.0 kg·667 m²,硫酸钾(含K₂O 50%)6.0 kg·667 m²,尿素(含N 46.4%)5.0 kg·667 m²。其他管理参照大田进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤含水量 在茴香出苗后每隔5 d利用土壤水分仪(FDR)测定0~20、20~40、40~60 cm深度土壤含水量,以3个不同土层深度的平均含水量进行分析。

1.4.2 叶绿素含量(SPAD) 利用SPAD-502型叶绿素仪测定茴香叶片的叶绿素含量,每个小区选取长势一致的植株标记,作为测定样株,测定10片叶,每片叶测定5个点,取平均值,同时注意避开叶脉,选取无病害、无斑点及无损伤的叶片。

1.4.3 株高测定 茴香出苗后,在每个小区(边行除外)选取代表性植株10株挂牌标记,分别在不同取样时间测量植株主茎最高部位到地面的绝对高度。

1.4.4 根系性状及单株生物量 在各取样时间内每小区随机取样5株,将地上部与根系分开,测定鲜质量和主根长;随后将样品在105℃下杀青30 min,80℃恒温烘至恒质量,冷却至室温后测定干质量。

1.4.5 单位面积茴香苗菜产量 单位面积苗菜鲜产量/(kg·667 m²)=单株地上鲜质量×种植密度;单位面积茴香苗菜干产量/(kg·667 m²)=单株地上干质量×种植密度。

1.5 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2003进行数据的计算、存储和初步处理,采用SPSS 15.0统计软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度对茴香苗菜土壤含水量的影响

由表1可以看出,种植密度对茴香苗菜土壤含水量有显著影响。随着生长时间的推进,不同种植密度下茴香苗菜土壤含水量呈现不同的变化趋势。出苗后5 d,M1、M2、M3处理土壤平均含水量呈显著差异;出苗后15 d,M2处理土壤平均含水量达到最高值,为4.46%,显著高于M1和M3处理;在出苗后30 d,M1、M2、M3处理土壤含水量无显著差异,基本保持一致,其中M2处理的土壤平均含水

表1 不同种植密度对茴香苗菜土壤含水量的影响

Table 1 Effects of different planting densities on soil water content of fennel seedling %

处理 Treatment	出苗后时间 Time after emergence/d					
	5	10	15	20	25	30
M1	3.70±0.35 b	3.86±0.57 b	3.54±0.11 b	3.91±0.35 b	2.65±0.27 b	2.62±0.38 a
M2	4.28±0.34 a	4.35±0.37 a	4.46±0.13 a	4.18±0.46 a	3.89±0.17 a	2.92±0.16 a
M3	3.02±0.17 c	3.12±0.20 b	3.23±0.34 b	2.68±0.14 c	2.58±0.35 b	2.14±0.24 a

注: 同列数字后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

量最高, 为 2.92%。在整个生长过程中, M2 处理的土壤平均含水量始终高于 M1 和 M3 处理, 表明适宜的种植密度能够保持一定的土壤含水量, 促进土壤为茴香苗菜生长提供一定的水分供给。

2.2 不同种植密度对茴香苗菜叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可知, 随着生长时间的推进, M1、M2、M3 处理茴香苗叶片叶绿素含量均呈现上升-下降-上升的变化趋势。其中出苗后 5~15 d, 叶绿素含量增长趋势为 M2>M1>M3; 出苗后 20 d, M1、M2、M3 处理茴香叶片叶绿素含量迅速增加, 均达到最大值, 分别为 54.0、56.8 和 52.6, 且 M2 与 M1、M3 呈显著差异, 随后各处理叶绿素含量迅速下降; 出苗后 25~30 d, M1、M2、M3 处理茴香苗叶片叶绿素含量又缓慢增加, 增加速度分别为 3.9%、4.8%、1.2%。

2.3 不同种植密度对茴香苗菜株高的影响

由图 2 可知, M1、M2、M3 处理茴香苗菜株高均随生长时间的推进呈逐渐增高的变化趋势。出苗

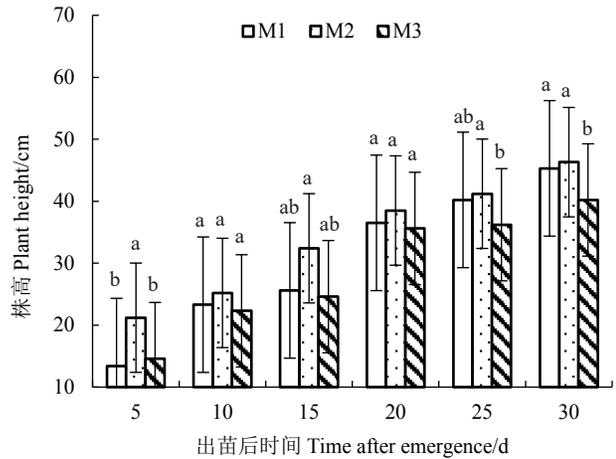


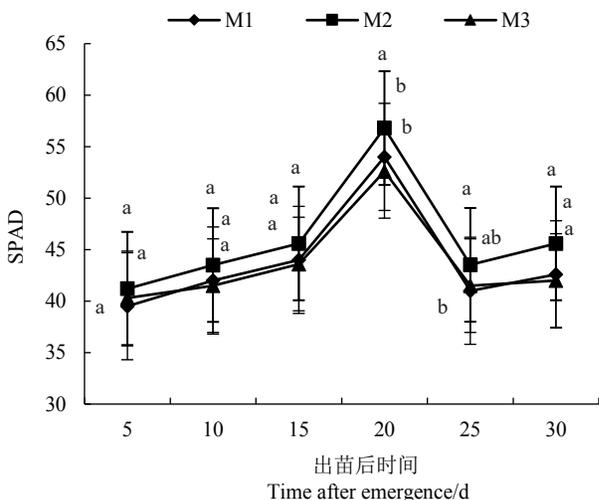
图 2 不同种植密度对茴香苗菜株高的影响

Fig. 2 Effect of different planting density on plant height of fennel seedling

后 5 d 和 15 d, M2 处理茴香苗菜株高分别为 21.2、32.4 cm, 较 M1 和 M3 增加速度快; 出苗后 10 d 和 20 d, M1、M2、M3 处理茴香苗菜株高差异不显著; 出苗后 25 d, M1 和 M2 茴香苗菜株高分别为 40.2、41.3 cm, M2 与 M3 处理呈显著差异; 出苗后 30 d, M1、M2、M3 处理株高均达到最高, 分别为 45.31、46.42、40.21 cm, M1、M2 与 M3 处理呈显著差异。茴香苗菜在出苗后 30 d 内株高生长速度为 M2>M1>M3, 表明在生产中种植密度过大不利于提高茴香苗菜的株高。

2.4 不同种植密度对茴香苗菜根系性状的影响

2.4.1 不同种植密度对茴香苗菜主根长度的影响 由图 3 可知, 茴香苗菜主根长度均随着生长时间的推进呈不断增加的趋势。其中, 在出苗后 5~10 d, M1、M2、M3 处理茴香苗菜主根长度增加缓慢, 且三者之间差异不显著; 出苗后 20 d, M1、M2、M3 茴香苗菜主根长度快速增加, 均出现生长拐点, 其中 M2 茴香苗菜主根长度最长, 为 10.21 cm, 比 M1 和 M3 分别高出 0.70、1.60 cm; 出苗后 25 d, M1、M2、M3 茴香苗主根长度均有所增加, 但增加幅度不大; 出苗后 30 d, M1、M2、M3 茴香苗主根长度



注: 同一时间不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同种植密度对茴香苗菜叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different planting densities on chlorophyll content of fennel seedling leaves

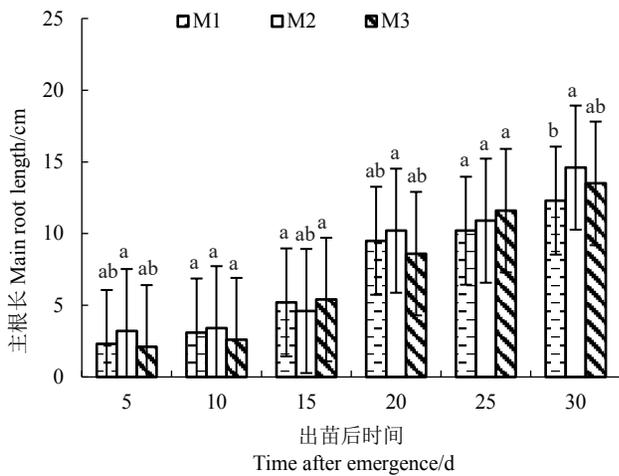


图3 不同种植密度对茴香苗菜主根长度的影响

Fig. 3 Effect of different planting density on main root length of fennel seedling

分别达到最大值, M2 比 M1、M3 分别高出 2.34、1.13 cm, M2 主根长与 M1 处理呈显著差异, 但与 M3 差异不显著。表明适宜的种植密度有利于茴香苗菜的根系生长。

2.4.2 不同种植密度对茴香苗菜根鲜、干质量的影响 由图 4 可知, 茴香苗菜根鲜质量和干质量均随着生长时间的延伸呈逐渐增加的变化趋势。出苗后 5~15 d, M1、M2、M3 处理根鲜质量增加比较缓慢, 但 15 d 时 M2 根鲜质量显著大于 M1; 出苗后 20 d, M1、M2、M3 处理茴香苗菜单株根鲜质量分别为 2.20、2.24 和 2.13 g·株⁻¹, 较出苗后 15 d 分别增加了 115.68%、69.70%、68.00%; 出苗后 25 d, M2 茴香苗菜单株根鲜质量最大, 为 2.87 g·株⁻¹, 较 M1 和 M3 处理根鲜质量分别显著增加了 0.51、0.30 g·株⁻¹; 出苗后 30 d, M1、M2、M3 处理根鲜质量均达到最大值, 分别为 3.89、3.98 和 3.81 g·株⁻¹, M2 与 M3 处理呈显著差异, 但与 M1 处理差异不显著。

由图 4-B 可知, 出苗后 5 d, 各种种植密度之间根干质量差异不显著, 但 M2 根系干质量最大, 为 0.06 g·株⁻¹; 出苗后 10 d, M1、M2、M3 茴香苗菜根系单株干质量快速增加, 增长规律为 M2>M1>M3; 出苗后 15 d 和 20 d, M1、M2 和 M3 处理呈显著差异; 出苗后 25 d, M1、M2、M3 处理根系干质量增加缓慢; 出苗后 30 d, M1、M2、M3 茴香苗菜根系单株干质量均达到最大值, 分别为 0.68、0.71 和 0.69 g·株⁻¹, 三者差异不显著。

2.5 不同种植密度对茴香苗菜鲜、干产量的影响

由图 5-A 可知, 茴香苗菜单单位面积鲜产量随着生长时间的推进呈现逐渐增加的变化趋势, 出苗后 30 d 各种种植密度均达到最高值。其中在出苗后 5~

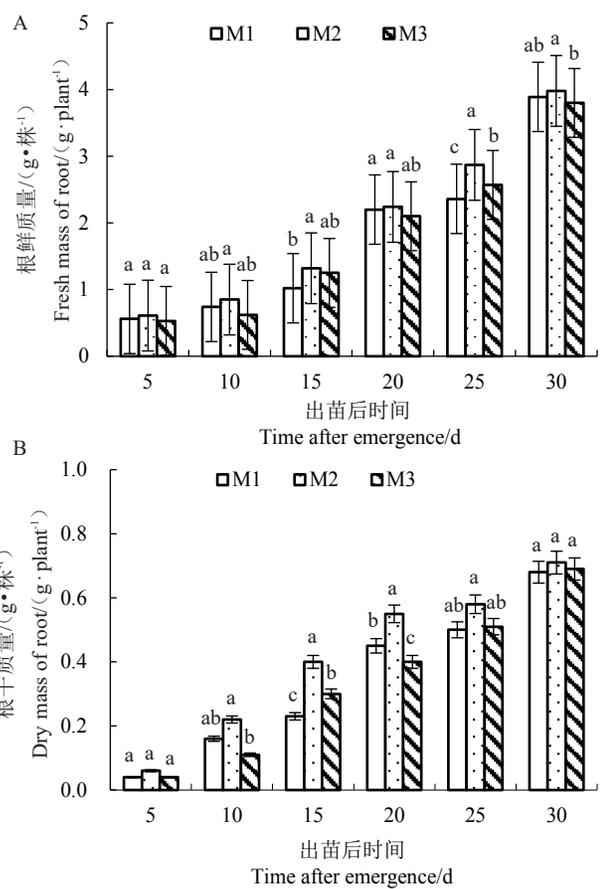


图4 不同种植密度对茴香苗菜根鲜、干质量的影响

Fig. 4 Effects of different planting densities on fresh and dry mass of fennel seedling roots

10 d, 随着种植密度增加, 茴香苗菜单单位面积鲜产量呈增加趋势; 出苗后 15 d, M2 和 M3 处理单位面积鲜产量基本持平, 分别为 45.02、43.67 kg·667 m⁻², 但 M1 仅为 24.87 kg·667 m⁻², 显著低于 M2 和 M3 处理, 较出苗后 10 d 增加缓慢, 仅增加了 41.07%; 出苗后 20 d, 各种种植密度茴香苗菜生长出现拐点, M1、M2、M3 处理单位面积产量呈快速增加的趋势, 分别为 59.23、132.97、126.93 kg·667 m⁻², 其中 M1、M2、M3 处理呈显著差异; 在出苗后 30 d, 各种种植密度茴香苗菜单单位面积鲜产量均达到最高值, 分别为 128.33、219.27 和 166.63 kg·667 m⁻², 三者之间呈显著差异, 和出苗后 5 d 相比, 增长速度为 M2>M3>M1。以上结果表明在茴香种植中适当增加种植密度有利于提高茴香苗菜单单位面积鲜产量。

茴香苗菜单单位面积干产量变化趋势与鲜产量变化趋势一致, 如图 5-B 所示。出苗后 5~15 d, M1、M2、M3 处理单位面积干产量增加较为缓慢; 出苗后 20 d, M2 和 M3 处理单位面积干产量呈快速增加的趋势, 分别为 40.13、38.63 kg·667 m⁻², 但 M1 增加较为缓慢, 仅为 11.90 kg·667 m⁻², 与 M2 和 M3 处

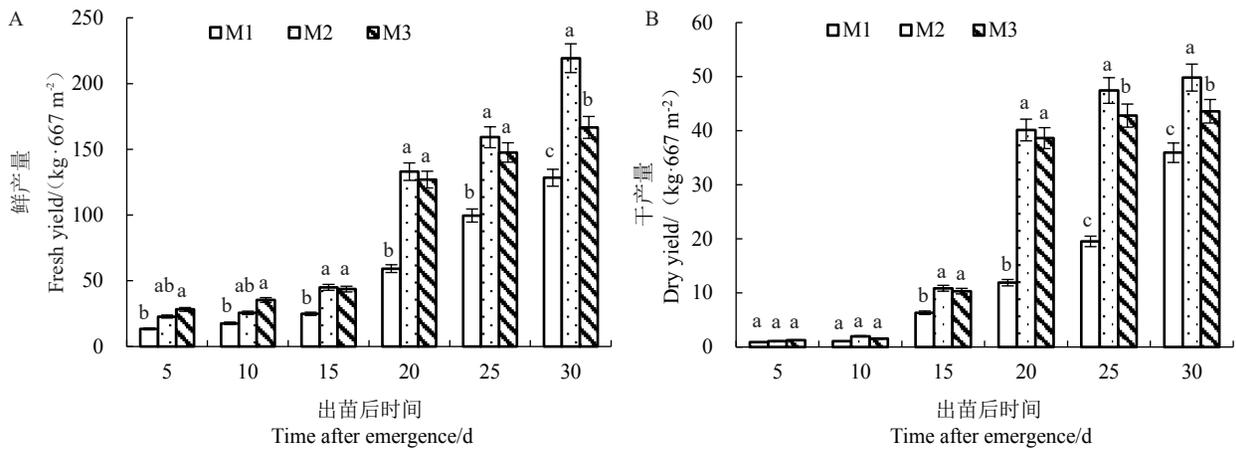


图5 不同种植密度对茴香苗菜鲜、干产量的影响

Fig. 5 Effects of different planting densities on fresh and dry yield of fennel seedling

理呈显著差异;出苗后 25 d, M1、M2、M3 茴香苗菜单位面积干产量分别为 19.53、47.43、42.80 kg·667 m⁻², 三者之间呈显著差异,较单位面积干产量增加拐点时(出苗后 15 d)分别提高 208.53%、336.34%、314.33%;出苗后 30 d,各种种植密度单位面积干产量均达到最高值,三者之间呈显著差异,但较出苗后 25 d 增加不明显,说明茴香在出苗后 20 d 为干生物量积累的最佳时间。

3 讨论与结论

3.1 不同种植密度对茴香苗菜土壤含水量及叶绿素含量的影响

水分是限制我国西北干旱、半干旱区农业生产的重要生态因子^[22-23],也是制约宁夏中部干旱带中药材产业发展的主要因素之一。水分在作物生长发育过程中起着重要作用,土壤含水量是植物生长状况的重要指标。在增加种植密度获得高产的同时,作物群体之间水分竞争对产量的影响十分显著。研究表明,不同种植密度对茴香苗菜 0~60 cm 深度土壤平均含水量有一定影响,随着种植密度增加,土壤含水量呈先上升后下降的变化趋势。相关研究表明,银杏等生长发育及人参药用成分与土壤水分含量具有相关性^[24-25]。笔者试验表明,由于种植密度的增加,茴香苗菜群体生物量增加,根系群体吸收土壤水分的聚集能力也随之增强,导致土壤含水量呈下降的趋势,但适宜的种植密度会降低土壤水分蒸发,导致土壤含水量保持在一定的范围,满足作物对水分的需求。这一结论与王淼等^[26]的研究结果相似。本研究表明,M1、M2 和 M3 茴香苗菜叶片叶绿素含量随着生长时间的延伸呈单峰曲线的变化趋势,与孙梅霞等^[27]的研究结果一致。

3.2 种植密度对茴香苗菜生物量的影响

生物量是植物生长状况的度量标准,而株高能较为直观地反映植物生长状况。在本试验中,在出苗后 30 d 内 M1、M2、M3 茴香苗菜株高随生育周期的进行呈递增的趋势,且株高达到测量期内最大值,其中 M2(中密度)最大,为 46.42 cm,较 M1 和 M3 分别提高 2.47%和 15.47%。合理的种植密度有利于促进作物营养生长,实现作物高产。郑迎霞等^[28]研究表明,适当提高种植密度能够提高玉米产量,但高密度会引起植株透光性变差,光能利用不足,茎粗和干物质积累量下降。胡启锋等^[29]研究表明,早稻茎蘖数随种植密度的增加而增加,同时提高了产量。在笔者的研究中,M2(中密度)茴香苗菜鲜产量和干产量在出苗后 30 d 达到最高,与 M1 和 M3 呈显著差异,这与任佰朝等^[30]、冯银平等^[31]和林志玲等^[32]对作物种植密度与生物量关系的研究结果一致,但与王雪莱等^[33]研究结果不一致,主要原因在两种作物的株型与高度有显著差异,光能空间利用效率和根系生长对水、热和温度及周边环境的不同,导致不同种植密度对两种作物的生物量影响结果不同。

研究表明,作物群体生物量积累存在着明显的密度效应,即随着种植密度的增加会引起作物生物量积累减少^[34]。在笔者研究中,M3(高密度)茴香苗菜株高和鲜、干产量均低于 M2(中密度),说明高密度种植下,相邻植株间产生隐蔽反应^[35-36],造成植株的生长发育受阻,最终导致作物生物量积累减少。也有研究表明,作物根的长度能够缩短深层土壤水分和养分达到根系的距离,提高根系对土壤水分和养分的吸收利用效率,从而促进地上部的旺盛生长,达到获得高产的目的^[37-39]。在本试验中,茴香苗

菜在出苗后 30 d, M2 茴香苗菜根系长度达到 14.63 cm, 同时地上部生物鲜、干产量也达到最高, 分别为 219.27、49.83 kg·667 m², 表明适宜的种植密度使茴香苗菜单株根系生物量、主根长度均可以达到最佳, 最终导致植株地上部生物量积累达到最大。

综上所述, 适宜的种植密度可以显著提高茴香苗菜单位面积鲜、干产量。综合考虑种植密度对茴香苗菜株高、根系性状及单位面积鲜、干产量的影响, 在笔者的试验条件下, 推荐目标鲜产量为 170~220 kg·667 m² 时, 民勤 2 号茴香苗菜生产的适宜密度是 5 万~7 万株·667 m²。

参考文献

- [1] NOURIMAND M, MOHSENZADEH S, DA SILVA J A T. Physiological responses of fennel seedling to four environment alstresses[J]. Iranian Journal of Science and Technology, 2012, 36(A1):37-46.
- [2] 刘昆言, 禹双双, 刘琪龙, 等. 小茴香研究进展[J]. 农产品加工, 2020(9):67-73.
- [3] 何金明, 肖艳辉, 王羽梅, 等. 不同茴香品种植株形态及营养成分分析[J]. 中国蔬菜, 2008(8):18-20.
- [4] 李述成, 海原县小茴香产业发展现状及制约因素分析[J]. 宁夏农林科技, 2007(6):43-44.
- [5] 刘缙, 吴科, 徐璐娜. 海原县小茴香适宜生长气象条件分析[J]. 宁夏农林科技, 2018, 50(10):60-62.
- [6] 韩金玲, 杨晴, 周印富, 等. 冀东地区种植密度对小麦京冬 8 号抗倒伏能力和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(5):667-673.
- [7] 朱灿灿, 马春业, 秦娜, 等. 种植密度对夏谷抗倒性及光合特性的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(9):53-55.
- [8] 赵会杰, 薛延丰, 董中东, 等. 密度及追氮时期对大穗型小麦旗叶及子粒碳水化合物代谢的影响[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(1):1-4.
- [9] 王之杰, 郭天财, 王化岑, 等. 种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(3):64-67.
- [10] 于文明. 不同施氮量条件下密度对小麦产量和品质的影响及其生理基础[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2006.
- [11] 程少雨, 林涛, 吴凤全, 等. 种植密度和灌溉定额对机采棉田土壤盐分特征的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(12):3933-3943.
- [12] 付炳堃, 刘天丽, 孙梦遥, 等. 种植密度对快菜叶面积指数动态变化及产量的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(增刊 1):119-123.
- [13] 付炳堃, 孙梦遥, 韦美嫒, 等. 种植密度对不结球白菜叶面积指数动态变化及产量的影响[J]. 北方园艺, 2019(3):65-69.
- [14] 徐昭玺, 岳湘, 徐岚, 等. 百种调料香料类药用植物栽培[M]. 北京: 农业出版社, 2003.
- [15] 许俊强, 汤青林, 宋明, 等. 蔬菜抽薹的遗传规律及机理研究[J]. 长江蔬菜, 2011(8):7-10.
- [16] 罗静, 钟永科, 李明明, 等. 小茴香储存过程中挥发性成分的变化[J]. 中国调味品, 2016, 41(3):49-52.
- [17] 魏泉增, 胡旭阳. 不同产地小茴香香气成分差异分析[J]. 中国调味品, 2018, 43(5):74-79.
- [18] 李蜀眉, 王丽荣, 陈永青, 等. 小茴香中黄酮类化合物提取及抗氧化性研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(12):29-32.
- [19] 郭新春, 尹彩萍, 张应烙. 20 种中药提取物抑菌活性的筛选研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2007, 31(2):161-163.
- [20] 董思敏, 张晶. 小茴香化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国调味品, 2015, 40(4):121-124.
- [21] 滕光寿, 刘曼玲, 毛峰峰, 等. 小茴香挥发油的抗炎镇痛作用[J]. 现代生物医学进展, 2011, 11(2):344-346.
- [22] 李生秀, 胡田田, 高亚军. 旱地土壤的合理施肥: I. 旱地土壤的供肥特点和施肥的迫切性[J]. 干旱地区农业研究, 1993(增刊 1):1-6.
- [23] 李明, 张清云, 蒋齐, 等. 灌水量对宁夏中部干旱带沙地土壤水分的影响研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6):222-227.
- [24] 陈颖, 谢寅峰, 沈惠娟. 银杏幼苗对水分胁迫的生理响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(2):55-58.
- [25] 刘琪璟, 戴洪才, 王贺新. 林下人参生理特性和生长与林内生态因子的关系[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4):353-359.
- [26] 王淼, 代力民, 姬兰柱, 等. 长白山阔叶红松林主要树种对干旱胁迫的生态反应及生物量分配的初步研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4):496-500.
- [27] 孙梅霞, 汪耀富. 烟草生理指标与土壤含水量的关系[J]. 中国烟草科学, 2000, 21(2):30-33.
- [28] 郑迎霞, 陈杜, 魏鹏程, 等. 种植密度对贵州春玉米茎秆抗倒伏性能及籽粒产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(4):738-751.
- [29] 胡启锋, 钟珺, 虞新华, 等. 栽插密度对赣南中低产田区双季早稻产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 26(12):25-27.
- [30] 任伯朝, 李利利, 董树亭, 等. 种植密度对不同株高夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(12):1864-1872.
- [31] 冯银平, 沈海花, 罗永开, 等. 种植密度对苜蓿生长及生物量的影响[J]. 植物生态学报, 2020, 44(3):248-256.
- [32] 林志玲, 朱铁霞, 李天琦, 等. 种植密度对科尔沁沙地饲用燕麦产量和品质的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(3):760-765.
- [33] 王雪莱, 郭潇潇, 郭伟, 等. 种植密度对松嫩平原西部燕麦产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(7):881-889.
- [34] 王雪莱, 郭潇潇, 郭伟, 等. 种植密度对松嫩平原西部白燕 7 号生产性能及光合特性的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(8):1568-1578.
- [35] XIE Y R, LIU Y, WANG H, et al. Phytochrome-interacting factors directly suppress MIR156 expression to enhance shade avoidance syndrome in *Arabidopsis*[J]. Nature Communications, 2017, 8:348.
- [36] 郭潇潇, 韩蕊, 刘徐冬雨, 等. 种植密度对茴香苗菜生长及产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(4):80-86.
- [37] 蔡自新, 张岁岐, 郝文芳, 等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J]. 生态学报, 2005, 25(11):2895-2900.
- [38] 刘浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 间作模式下冬小麦与春玉米根系的时空分布规律[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6):1242-1246.
- [39] 隋鹏祥, 张文可, 梅楠, 等. 不同秸秆还田方式对春玉米产量、水分利用和根系生长的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(4):255-261.