

土壤含水量对茴香植株生长及精油含量和组分的影响

肖艳辉, 何金明, 王羽梅, 任安祥*

(韶关学院英东生物工程学院农业科学系, 广东韶关 512005)

摘 要: 采用控制浇水量的方法设计土壤相对含水量低 (45% ~ 50%)、中 (60% ~ 75%)、高 (75% ~ 100%) 3个处理, 研究对茴香生长与精油含量及其组分的影响。结果表明, 随着土壤含水量的升高, 茴香株高、植株节数、根干质量、地上部干质量、全株干质量、全碳含量、单株精油产量和叶绿素 a/b 均随之升高, 而根冠比和全氮、蛋白氮、叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量均随之下降; 中等含水量处理的植株花序数和精油、可溶性糖含量较高, 低和高含水量处理的则较低; 不同处理茴香植株, 其精油共鉴定出 22 种成分, 除 α -蒎烯、香桉烯、 β -蒎烯、 β -萜品烯、萜品油烯、肉豆蔻醚 6 种成分相对含量差异不显著外, 其余 16 种成分相对含量均表现出显著或极显著差异; 随着土壤含水量的增大, 精油的第一主要成分反式-茴香脑含量呈升高趋势, 低、中、高含水量处理其含量依次为 41.34%、53.87% 和 62.97%, 第二主要成分柠檬烯含量与反式-茴香脑含量变化相反, 其 3 个处理依次为 44.77%、34.77% 和 22.16%。因此, 低和高土壤含水量处理分别有利于茴香柠檬烯和反式-茴香脑的积累。

关键词: 茴香; 土壤含水量; 生长; 精油

中图分类号: S 636; R 931.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 07-1005-08

Effects of Soil Moisture on Plant Growth, Contents and Components of Essential Oil in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

XIAO Yan-hui, HE Jin-ming, WANG Yu-mei, and REN An-xiang*

(Department of Agricultural Science, College of Yingdong Bioengineering, Shaoguan College, Shaoguan, Guangdong 512005, China)

Abstract: Effects of soil water on plant growth, contents and components of essential oil in fennel were studied, by controlling soil water content at low (relative water content, 45% - 50%), middle (relative water content, 60% - 75%) and high (relative water content, 75% - 100%) levels. The results showed that, with increasing of soil water content, plant height, number of node, root and shoot fresh weight (FW), plant fresh weight, content of total carbon, yield of essential oil per plant and Chl. a/Chl. b ratio were elevated, but root/shoot ratio, contents of total nitrogen, proteinic nitrogen, Chl. a, Chl. b and CAR were decreased; Number of inflorescence, contents of essential oil and soluble sugar were higher in middle level water treatment, while they were lower in low and high level water treatments; Twenty-two chemical compounds were also identified in different soil water treatments, relative content was no difference ($P = 0.05$) in α -pinene, sabinene, β -pinene, β -terpinene, terpinolene and myristicin, but was significant ($P = 0.05, 0.01$) in other sixteen compounds; With increasing water content, content of (E)-anethole, the dominant component in essential oil, was enhanced at 41.34%, 53.87% and 62.97%; Limonene was the second abundant material in oil, its content was decreased at 44.77%, 34.77% and 22.16%. This study indicated that lower water content had a positive role in accumulation of limonene, and higher water content was relatively favour for storage

收稿日期: 2009 - 01 - 05; 修回日期: 2009 - 05 - 21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30370151)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: wym990@vip.sina.com)

of (E)-anethole in fennel

Key words: fennel; water content of soil; growth; essential oil

茴香 (*Foeniculum vulgare* Mill) 原产地中海地区, 作为一种多用途 (蔬菜、中药、香料) 的芳香植物, 在我国已有 1 000 多年的引种栽培历史。我国茴香播种面积约 10 000 hm^2 , 年产量 20 000 t 左右, 主产区为甘肃、内蒙古、山西等省区。茴香全株含有精油。茴香精油广泛用于医药学、化妆品和食品添加剂等方面 (何金明等, 2005)。

精油含量和成分是衡量茴香质量最重要的指标之一。栽培条件如施肥量、施肥方式、氮源、矿质离子浓度等对茴香精油成分的相对含量具有一定影响 (Khan et al, 1999; Mordy & Atta-Aly, 2001; Singh et al, 2002; 王羽梅等, 2002), 不同产地茴香精油含量和组分亦不尽相同 (Akgül & Bayrak, 1988; Arslan et al, 1989; 吴玫涵等, 2001), 这均是由于茴香生长所处的综合生态条件不同所引起的。单一生态因子对茴香精油含量及其组分影响的研究报道很少。

为此, 作者在研究光照强度、 CO_2 浓度对茴香精油含量和成分影响的基础上 (肖艳辉等, 2007; 任安祥等, 2008), 进一步研究了土壤含水量对茴香植株生长及其精油含量和组分的影响, 以期能为提高茴香精油含量和质量提供参考。

1 材料与方法

1.1 植物材料及处理

以内蒙古茴香 (2004 年采种于内蒙古托县) 为试材, 试验地点为广东省韶关学院生态园。2004 年 9 月至 2005 年 1 月做预备试验。2005 年 4 月 7 日正式试验播种, 4 月 18 日选整齐一致幼苗 (两子叶展开, 第 1 心叶微露) 分苗至 15 cm \times 14 cm 的无底孔塑料花盆中, 每盆 4 株。2005 年 4 月 21 日选相对整齐一致幼苗移至塑料温室中, 同日开始土壤含水量低 (45% ~ 50%)、中 (60% ~ 75%)、高 (75% ~ 100%) 3 个处理, 每处理 30 盆, 3 次重复。处理 60 d, 2005 年 6 月 20 日取样分析。

含水量具体处理方法: 以水稻土 腐殖质 = 7 : 3 加 N、P、K 复合肥 1.5 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 配制营养土, 混匀装盆, 每盆准确称土 (1 430 \pm 5) g。随即取 5 份土样, 确定土壤的绝对含水量和每盆土壤的干质量。定植幼苗后, 每天 17: 00 进行称量并记录 (计算得到含水量下限), 然后根据各处理设定的含水量上限, 补充水分到规定的质量。将补水量均匀浇灌在花盆的土壤表面。

为避免称重时茴香幼苗鲜质量对土壤含水量的影响, 自定植之日起, 每隔 10 d 随机取样 5 株, 称量鲜重, 取平均值, 并在以后的 10 d 补水时多加其平均鲜质量。

1.2 精油的提取与定量

精油提取按照国家药典委员会推荐的方法 (中华人民共和国卫生部药典委员会, 2005), 并做适当改进: 茴香植株用水洗净, 吹干表面水迹, 切成 0.5 cm 左右的小段, 准确称 150 g, 置于 1 000 mL 的圆底烧瓶中, 加入 700 mL 水, 组装蒸馏装置 (横式, 直形冷凝管, 规格为 40 cm), 微沸蒸馏 3 h。蒸馏时用装有 10 mL 正己烷 (色谱纯) 的接收管 (最小刻度为 0.02 mL) 萃取, 用正己烷溶液体积增加的量计算精油的提取量。蒸馏结束后, 回收正己烷, 用无水硫酸钠干燥, 过滤, 定容至 11 mL。同时将风干样品烘干, 计算样品的干物率, 用 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW 表示精油的含量。每份样品蒸馏 3 次, 取其平均值。精油的正己烷溶液用棕色瓶封装, 于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 下保存。

1.3 精油成分分析

在吴玫涵等 (2001) 方法的基础上进行适当改进: 取茴香精油的正己烷溶液 50 μL 稀释至 3 mL, 进行气质联用仪 (GC-MS) 分析 (Trace GC-2000/DSQ, Thermo Finnigan, USA)。GC 条件为: DB5 石英毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm); 载气为高纯氮 (99.999%); 柱流量为 1 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,

不分流；柱前压 100 kPa；进样口温度为 220℃；进样量为 1 μ L；程序升温为柱温 40℃，保持 1 min，从 10℃ \cdot min⁻¹升高到 200℃ \cdot min⁻¹，保持 3 min。MS条件：电离方式为 EI⁺ 电子能量为 70 eV；接口温度为 210℃；离子源温度为 200℃；流量扫描范围为 50~350 m/z；溶剂延迟 4.0 min；发射电流为 100 μ A。

在参考前人工作（赵淑平等，1989，1991；Minica-Dukic et al，2003）的基础上，计算成分的保留系数，同时结合 NIST（2002）标准谱库进行精油成分鉴定。

使用色谱峰面积归一法确定精油成分的相对含量。每一样品重复 3 次。

1.4 其它生理指标的测定方法

可溶性糖含量用蒽酮比色法测定（李合生，2000）；全氮与蛋白氮含量用微量凯氏定氮法（中国科学院上海植物生理研究所和上海市植物生理学会，1999）测定；全碳用 K₂C₂O₇容量法（中国土壤学会农业专业委员会，1983）测定，叶绿素含量用比色法（郝再彬等，2004）测定。

全碳、可溶性糖、全氮、蛋白氮含量等测定，取材均为茴香全株，为了与之相对应，精油提取的取材也为茴香全株，以便作对应性分析；另外，由于茴香植株的精油与果实中精油具有相关性，影响茴香植株精油的因素也相应地影响果实中精油，考虑到试验的经济成本，本研究仅对茴香植株的精油进行了研究。

1.5 数据处理方法

采用 SPSS 软件进行测试指标的差异显著性分析并进行 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量对茴香生长的影响

如表 1 所示，除花序数外，随着土壤含水量的升高，茴香株高、节数、根干质量、地上部干质量和全株干质量均随之不断升高。其中，3 个处理的根干质量、地上部干质量和全株干质量差异分别达极显著水平；株高、植株节数为中和高土壤含水量处理极显著地高于低土壤含水量处理，而二者之间没有差异。随着土壤含水量的升高，茴香根冠比不断下降，但处理间差异不显著；花序数为低和高土壤含水量处理差异不显著，而两者极显著低于中土壤含水量处理。

表 1 不同土壤相对含水量处理茴香形态变化

Table 1 Changes of morphologic indexes of fennel in different water content of soil

相对含水量 / % Relative water content	株高 / cm Plant height	节数 Number of nodes	花序数 Number of inflorescence	根干质量 / g Root DW	地上部干 质量 / g Shoot DW	全株干 质量 / g Plant DW	根冠比 Root/Shoot ratio
45~50	43.22 \pm 0.50bB	8.56 \pm 2.06bB	2.78 \pm 1.93bB	0.19 \pm 0.04cC	1.01 \pm 0.39cC	1.21 \pm 0.18cC	0.22 \pm 0.10aA
60~75	56.25 \pm 6.90aA	10.38 \pm 0.81aA	5.13 \pm 3.20aA	0.31 \pm 0.04bB	1.89 \pm 0.61bB	2.20 \pm 0.13bB	0.19 \pm 0.08aA
75~100	61.69 \pm 6.87aA	10.13 \pm 1.45aA	2.94 \pm 2.26bB	0.43 \pm 0.13aA	3.04 \pm 1.21aA	3.47 \pm 0.25aA	0.16 \pm 0.08aA

注：Duncan's 检测各列数字后，不同小写字母表示 0.05 水平差异显著；不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。

Note: The different small letters followed the quantity the diversity at 0.05 level significance of Duncan's test The different capital letters followed the quantity the diversity at 0.01 level significance of Duncan's test

2.2 土壤含水量对茴香精油含量、产量和生理指标的影响

如表 2 所示，精油含量为中等土壤含水量处理最高（18.4 mL \cdot kg⁻¹ DW），其次为高土壤含水量处理（16.6 mL \cdot kg⁻¹ DW），最低为低土壤含水量处理（12.3 mL \cdot kg⁻¹ DW），中和高土壤含水量处理间差异不显著，但二者均显著高于低土壤含水量处理；单株精油产量还受到单株干质量的影响，表现出随土壤含水量升高而升高的趋势，低、中和高含水量处理分别为 0.015 mL、0.040 mL 和 0.058 mL，彼此差异极显著。

表 2 不同土壤相对含水量处理茴香精油含量和生理指标的变化

Table 2 Changes of essential oil contents and physiological indexes in different water content of soil

相对含水量 / % Relative water content	精油含量 / (mL · kg ⁻¹ DW) Content of essential oil	可溶性糖 / % Soluble sugar	全氮 / % Total nitrogen	蛋白氮 / % Proteinic nitrogen	全碳 / % Total carbon	单株精油产量 / mL Yield of essential oil per plant
45 ~ 50	12.30 ± 2.50Ab	4.63 ± 0.16bB	0.30 ± 0.00aA	0.20 ± 0.00aA	14.33 ± 1.15bA	0.02 ± 0.01cC
60 ~ 75	18.40 ± 0.20aA	6.69 ± 0.36aA	0.21 ± 0.00bB	0.16 ± 0.00bB	14.97 ± 1.00bA	0.04 ± 0.01bB
75 ~ 100	16.60 ± 1.20aA	6.31 ± 0.32aA	0.16 ± 0.00cC	0.12 ± 0.00cC	17.30 ± 1.20aA	0.06 ± 0.01aA

注: Duncan's检测各列数字后, 不同小写字母表示 0.05水平差异显著; 不同大写字母表示 0.01水平差异显著。

Note: The different small letters followed the quantity the diversity at 0.05 level significance of Duncan's test The different capital letters followed the quantity the diversity at 0.01 level significance of Duncan's test

随土壤含水量的升高, 茴香植株可溶性糖含量由 4.63%升至 6.69%, 再降至 6.31%, 中和高土壤含水量处理显著高于低土壤含水量处理, 而中和高土壤含水量处理间差异不显著; 茴香植株全碳含量由低含水量处理的 14.33%升至中含水量处理的 14.97%, 再升高含水量处理的 17.30%, 差异性分析表明, 低、中土壤含水量处理和高土壤含水量处理的差异显著, 而低和中土壤含水量处理差异不显著; 全氮含量和蛋白氮含量变化表现出相同的趋势, 即低土壤含水量处理的含量较高, 分别为 0.30%和 0.20%, 中土壤含水量处理的次之, 分别为 0.21%和 0.16%, 高土壤含水量处理的再次之, 分别为 0.16%和 0.12%, 并且不同处理之间差异极显著 (表 2)。

茴香叶中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量和叶绿素 a/b比值均表现出随土壤含水量增加而不断降低的趋势, 其中低土壤含水量和中土壤含水量处理的叶绿素 a、叶绿素 b和类胡萝卜素含量与高土壤含水量处理的差异显著, 而低和中土壤含水量的叶绿素 a、叶绿素 b和类胡萝卜素含量差异不显著; 3个处理的叶绿素 a/b比值差异不显著 (表 3)。

表 3 不同相对土壤含水量处理下茴香叶绿素、类胡萝卜素含量

Table 3 Contents of Chl. and Car. in different water content of soil

/ (mg · g⁻¹ FW)

相对含水量 / % Relative water content	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	类胡萝卜素 Car.	叶绿素 a/b Chl. a/b
45 ~ 50	1.52 ± 0.13aA	0.60 ± 0.06aA	0.30 ± 0.02aA	2.52 ± 0.07a
60 ~ 75	1.37 ± 0.09aA	0.56 ± 0.02aA	0.27 ± 0.03aAB	2.45 ± 0.12a
75 ~ 100	1.01 ± 0.05bB	0.42 ± 0.03bB	0.21 ± 0.01bB	2.38 ± 0.05a

注: Duncan's检测各列数字后, 不同小写字母表示 0.05水平差异显著; 不同大写字母表示 0.01水平差异显著。

Note: The different small letters followed the quantity the diversity at 0.05 level significance of Duncan's test The different capital letters followed the quantity the diversity at 0.01 level significance of Duncan's test

2.3 土壤含水量对茴香精油组分的影响

茴香精油经 GC-MS分析, 共鉴定出 22种成分, 鉴定出成分的峰面积总和占到总峰面积的 98%以上。茴香全株精油主要成分 (在 1%以上) 含量按照由大到小顺序, 低土壤含水量处理依次为柠檬烯、反式-茴香脑、水芹烯、蒈烯、蒈烯、爱草脑、-蒈品烯, 而中土壤含水量处理和高土壤含水量处理则为反式-茴香脑、柠檬烯、水芹烯、爱草脑、蒈烯、蒈品烯, 其中反式-茴香脑和柠檬烯 2种成分的含量占到精油的 85%以上 (表 4, 表 5)。

不同处理植株精油成分种类没有差异, 但在成分的相对含量上, 除-蒈烯、香桉烯、-蒈烯、-蒈品烯、蒈品油烯、肉豆蔻醚 6种成分差异不显著外, 其余 16种成分的差异均达到显著或极显著水平 (表 4)。

按照分子结构, 茴香精油成分可分为 3大类, 即单萜类化合物、含氧化合物和倍半萜类化合物, 其中前者包括-蒈烯、香桉烯、-蒈烯、月桂烯、水芹烯、对聚伞花素、柠檬烯、罗勒烯、-蒈品烯、蒈品油烯和 3, 4-二甲基-2, 4, 6-三烯; 次者包括爱草脑、蒈醇乙酸酯、反式蒈酮乙酸

酯、顺式 - 茴香脑、反式 - 茴香脑、肉豆蔻醚、蒈烯、莰烯、金合欢烯和吉玛烯 D。

单萜类化合物中的月桂烯、柠檬烯、罗勒烯、3, 4 - 二甲基 - 2, 4, 6 - 三烯的相对含量变化规律相同, 即随着土壤含水量的升高而降低, 而聚伞花素、水芹烯相对含量则表现为中土壤含水量处理较高 (0.23%、2.90%), 低土壤含水量处理居中 (0.29%、4.03%), 高土壤含水量处理较高 (0.62%、5.37%) (表 4)。

表 4 不同土壤相对含水量处理茴香精油成分组成

Table 4 Components of essential oil in different water content of soil

/ %

序号 Sequence	化合物 Component	土壤含水量 Water content of soil		
		45% ~ 50%	60% ~ 75%	75% ~ 100%
1	- 蒎烯 α -pinene	0.67 \pm 0.08a	0.48 \pm 0.30a	0.85 \pm 0.08a
2	香桉烯 Sabinene	0.09 \pm 0.01a	0.08 \pm 0.01a	0.08 \pm 0.00a
3	- 蒎烯 α -pinene	0.13 \pm 0.02a	0.10 \pm 0.04a	0.13 \pm 0.01a
4	月桂烯 Myrcene	0.50 \pm 0.05aA	0.37 \pm 0.02bB	0.33 \pm 0.02bB
5	水芹烯 Phellandrene	4.00 \pm 0.88abA	2.90 \pm 1.40bA	5.37 \pm 0.88aA
6	对聚伞花素 p-cymene	0.29 \pm 0.07bAB	0.23 \pm 0.17bB	0.62 \pm 0.11aA
7	柠檬烯 Limonene	44.70 \pm 0.98aA	34.70 \pm 1.83bB	22.10 \pm 1.52cC
8	罗勒烯 Ocimene	0.10 \pm 0.01aA	0.08 \pm 0.00bB	0.07 \pm 0.01bB
9	- 萜品烯 α -terpinene	1.26 \pm 0.02a	1.22 \pm 0.18a	1.11 \pm 0.09a
10	萜品油烯 Terpinolene	0.22 \pm 0.05a	0.21 \pm 0.05a	0.32 \pm 0.08a
11	3, 4 - 二甲基 - 2, 4, 6 - 三烯 2, 4, 6-octatriene, 3, 4-dimethyl-	0.13 \pm 0.01aA	0.10 \pm 0.01aAB	0.10 \pm 0.00bB
12	爱草脑 Estragole	1.60 \pm 0.04cC	2.05 \pm 0.10bB	2.26 \pm 0.03aA
13	葑醇乙酸酯 Fenchyl acetate	0.22 \pm 0.04aA	0.09 \pm 0.02bB	0.10 \pm 0.02bB
14	反式 - 葑醇乙酸酯 Trans-fenchyl acetate	0.27 \pm 0.04bB	0.13 \pm 0.01cC	0.40 \pm 0.02aA
15	顺式 - 茴香脑 (Z) α -anethole	0.30 \pm 0.03abA	0.37 \pm 0.05aA	0.28 \pm 0.01bA
16	反式 - 茴香脑 (E) α -anethole	41.30 \pm 2.08cC	53.80 \pm 1.73bB	62.90 \pm 2.27aA
17	古巴烯 Copaene	0.02 \pm 0.00bB	0.02 \pm 0.01bB	0.04 \pm 0.01aA
18	雪松烯 Cedrene	0.01 \pm 0.00cB	0.02 \pm 0.01bB	0.03 \pm 0.00aA
19	金合欢烯 Farnesene	0.04 \pm 0.01cB	0.06 \pm 0.01bB	0.11 \pm 0.01aA
20	吉玛烯 D Germacrene D	0.17 \pm 0.03bB	0.20 \pm 0.07bAB	0.33 \pm 0.03aA
21	肉豆蔻醚 Myristicin	0.05 \pm 0.01a	0.06 \pm 0.01a	0.06 \pm 0.01a
22	蒈烯 Dillapiole	1.56 \pm 0.19bA	1.80 \pm 0.50aA	1.48 \pm 0.37bA
合计 Total		98.70 \pm 0.23aA	99.20 \pm 0.12aA	99.20 \pm 0.07aA

注: Duncan's 检测各行数字后, 不同小写字母表示 0.05 水平差异显著; 不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。

Note: The different small letters followed the quantity the diversity at 0.05 level significance of Duncan's test The different capital letters followed the quantity the diversity at 0.01 level significance of Duncan's test

对于含氧化合物, 爱草脑和反式 - 茴香脑的相对含量随着土壤含水量的增加而增高, 其中爱草脑的相对含量分别为 1.60%、2.05%和 2.26%, 而反式 - 茴香脑的相对含量分别为 41.34%、53.87%和 62.97%, 且该 2 种成分相对含量的差异在不同处理间均达到极显著水平; 顺式 - 茴香脑的相对含量表现为中土壤含水量处理 (0.37%) 显著高于高土壤含水量处理 (0.28%), 而低和高土壤含水量处理间的差异不显著; 蒈烯的相对含量则表现为中土壤含水量 (1.80%) 显著高于低 (1.56%) 和高土壤含水量处理 (1.48%), 低和高土壤含水量处理间差异不显著 (表 4)。

倍半萜类化合物, 其相对含量在 0.01% ~ 0.33% 之间。经不同土壤含水量处理后, 这 4 种倍半萜类化合物的含量表现出相同的变化规律, 即随土壤含水量的增加, 其含量也不断增大, 并且均表现为高土壤含水量处理极显著高于低土壤含水量和中土壤含水量处理 (表 4)。

不同土壤含水量处理, 茴香精油单萜类化合物相对含量随着土壤含水量升高不断降低, 而含氧化合物和倍半萜类化合物相对含量则相反, 随着土壤含水量升高而不断升高。具体来说, 单萜类化合物相对含量在低、中和高土壤含水量处理分别为 52.20%、40.55%和 31.15%, 含氧化合物相对含量分别为 46.36%、58.37%和 67.55%, 倍半萜类化合物相对含量分别为 0.24%、0.33%和 0.51%, 差异显著性分析表明, 单萜类和含氧化合物相对含量差异在 3 个处理间达极显著水平, 倍半萜类化合物相对含量在低含水量和高含水量之间差异极显著 (表 5)。

表 5 不同土壤相对含水量处理茴香精油 3 类成分变化

Table 5 Changes of three kinds components of essential oil in different water content of soil

/%

成分 Component	土壤含水量 Water content of soil		
	45% ~ 50%	60% ~ 75%	75% ~ 100%
单萜类 Monoterpenes	52.20 ±2.19aA	40.55 ±4.00bB	31.15 ±2.07cC
含氧化合物 Oxygenated compounds	46.36 ±2.43cC	58.37 ±2.42bB	67.55 ±2.73aA
倍半萜类 Sesquiterpenes	0.24 ±0.04bB	0.33 ±0.10bAB	0.51 ±0.04aA

注: Duncan's 检测各行数字后, 不同小写字母表示 0.05 水平差异显著; 不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。

Note: The different small letters followed the quantity the diversity at 0.05 level significance of Duncan's test The different capital letters followed the quantity the diversity at 0.01 level significance of Duncan's test

3 讨论

一般情况下, 随着土壤含水量的升高, 植物总生物量升高 (Osorio & Pereira, 1994; Osorio et al, 1998; 孙书存和陈灵芝, 2000; 王森等, 2001); 在生物量的分配模式上, 随着土壤含水量的降低, 植物将较多的生物量分配到根, 表现出根/冠比升高 (Ranney et al, 1990; 许振柱等, 2005), 这有助于满足植株对水分的需求, 维持水分平衡, 是植物适应少水土壤环境的体现。在一定范围内, 植物叶绿素的含量随着土壤含水量的升高而不断减少 (孙梅霞等, 2000)。本文设计的土壤相对含水量在 45% ~ 100% 之间, 试验结果和以上文献的报道一致。

本研究结果还表明, 茴香植株精油含量以中土壤含水量处理较高, 高土壤含水量处理次之, 低土壤含水量处理较低, 精油含量的变化与可溶性糖含量变化趋势一致, 可能是由于适宜的土壤含水量促进了茴香生物产量的积累, 也使可溶性糖含量增加, 而这种非结构性碳氢化合物 (如可溶性糖) 作为合成茴香精油成分 (为碳氢化合物和碳氢氧化物) 前体的底物, 其含量增加, 可以促进精油成分前体的合成, 从而可以促进精油成分的积累; 单株精油产量受单株干质量和精油含量的影响, 其变化表现为随土壤含水量的升高而升高。因此, 适宜的土壤含水量与适宜的种植密度对提高茴香植株精油单位面积产量至关重要; 单株精油产量与全碳含量的变化趋势一致, 而与全氮和蛋白氮含量的变化趋势相反, 说明作为次生代谢产物的精油的累积和碳的累积具有一致性, 而与氮的累积具有相反的趋势, 这可能与茴香精油成分主要为碳氢化合物和碳氢氧化物, 而无含氮化合物有关。

经不同土壤含水量处理, 茴香精油共鉴定出 22 种成分, 其中 4 种成分相对含量差异达极显著水平, 12 种成分差异显著, 6 种成分差异不显著; 精油 2 种最主要的成分反式 - 茴香脑和柠檬烯相对含量差异分别达到极显著水平, 说明不同土壤含水量对茴香精油的质量影响显著; 柠檬烯的相对含量变化与土壤含水量变化相反, 而反式 - 茴香脑的含量变化则和土壤含水量的变化一致。在低土壤含水量处理, 茴香精油柠檬烯的相对含量 (44.77%) 高于反式 - 茴香脑 (41.34%), 在中、高土壤含水量处理, 茴香精油柠檬烯的相对含量 (34.77%和 22.16%) 则低于反式 - 茴香脑的含量 (53.87%和 62.97%)。这说明, 低土壤含水量处理相对有利于茴香柠檬烯的积累, 而高含水量处理相对有利于反式 - 茴香脑的积累。其可能的原因为: 反式 - 茴香脑为含氧的苯丙烷化合物 ($C_{10}H_{12}O$), 通过莽草酸途径合成, 柠檬烯为单萜化合物 ($C_{10}H_{16}$), 通过甲羟戊酸途径合成, 联系这两种代谢途径的物

质是茴香体内的非结构性的小分子碳氢化合物, 即非结构性的小分子碳氢化合物是反式-茴香脑和柠檬烯合成的公共前体。高土壤含水量处理相对提高了莽草酸途径的反应速率, 有利于反式-茴香脑的累积; 而低土壤含水量处理则相对提高了甲羟戊酸途径的反应速率, 有利于柠檬烯的积累。

References

- Agricultural Committee of Soil Science Society of China. 1983. Routine analysis of soil agricultural chemistry. Beijing: Science Press: 272 - 273. (in Chinese)
- 中国土壤学会农业专业委员会. 1983. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社: 272 - 273.
- Akgü A, Bayrak A. 1988. Volatile oil composition of Turkish bitter fennel. Food Chemistry, 30: 319 - 323.
- Arslan N, Bayrak A, Akgü A. 1989. The yield and components of essential oil in fennels of different origin (*Foeniculum vulgare* Mill.) grown in Ankara conditions. Herba Hungarica, 28 (3): 27 - 32.
- Compilation Committee of Pharmacopoeia of the People's Republic of China. 2005. Pharmacopoeia of the People's Republic of China Vol. 1. Beijing: Chemical Industry Press: 35. (in Chinese)
- 中华人民共和国卫生部药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典 (第一卷). 北京: 化学工业出版社: 35.
- Hao Zai-bin, Cang Jing, Xu Zhong. 2004. Plant physiology experiment. Harbin: Harbin Institute of Technology Press: 46 - 49. (in Chinese)
- 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 2004. 植物生理实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社: 46 - 49.
- He Jin-ming, Wang Yu-mei, Zhuo Li-huan, Guo Yuan. Study on the factors effecting essential oil content and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32 (2): 348 - 351. (in Chinese)
- 何金明, 王羽梅, 卓丽环, 郭园. 2005. 茴香精油含量和质量影响因素的研究进展. 园艺学报, 32 (2): 348 - 351.
- Institute of Plant Physiology Shanghai Institutes for Chinese Academy of Science, Plant Physiology Academy of Shanghai. 1999. Modern plant physiology experiment of directory. Beijing: Science Press: 133 - 134. (in Chinese)
- 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生学会. 1999. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社: 133 - 134.
- Khan M M A, Azam Z M, Samiullah. 1999. Changes in the essential oil constituents of fennel (*Foeniculum vulgare*) as influenced by soil and foliar levels of N and P. Canadian Journal of Plant Science, 79 (4): 587 - 591.
- Li He-sheng. 2000. Plant physiology and biochemistry of experimental theory and technology. Beijing: Higher Education Press: 171 - 174. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 172 - 174.
- Mimica-Dukic N, Kujundzic S, Sokovic M, Couladis M. 2003. Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. Phytotherapy Research, 17: 368 - 371.
- Mordy A, Atta-Aly. 2001. Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source of nitrogen fertilizer. Scientia Horticulturae, 88: 191 - 202.
- Osoerio J, Osoerio M L, Chaves M M, Pereira J S. 1998. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globules*. Tree Physiology, 18 (6): 363 - 373.
- Osoerio J, Pereira J S. 1994. Genotypic differences in water use efficiency and CO₂ discrimination in *Eucalyptus globules*. Tree Physiology, 14 (8): 871 - 882.
- Ranney T G, Whitlow T H, Bassuk N L. 1990. Response of five temperate deciduous tree species to water stress. Tree Physiology, 6 (4): 439 - 448.
- Ren An-xiang, He Jin-ming, Xiao Yan-hui, Wang Yu-mei. 2008. Effects of CO₂ concentration on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*). Journal of Plant Ecology: Chinese Version, 32 (3): 698 - 703. (in Chinese)
- 任安祥, 何金明, 肖艳辉, 王羽梅. 2008. CO₂浓度升高对茴香植株生长、精油含量和组分的影响. 植物生态学报, 32 (3): 698 - 703.
- Singh P K, Chowdhury A R, Garg V K. 2002. Yield and analysis of essential oil of some spice crops grown in sodic soils. India Perfumer, 46 (1): 35 - 40.
- Sun Mei-xia, Wang Yao-fu, Zhang Quan-min. 2000. Relationship of physiological indexes and water content of soil in tobacco. Chinese Tobacco Science, 21 (2): 30 - 33. (in Chinese)
- 孙梅霞, 汪耀富, 张全民. 2000. 烟草生理指标与土壤含水量的关系. 中国烟草科学, 21 (2): 30 - 33.
- Sun Shu-cun, Chen Ling-zhi. 2000. A preliminary study on the ecological responses of seedlings to drought and simulated defoliation in *Quercus*

- liaotungensis* Acta Ecologica Sinica, 20 (5): 893 - 897. (in Chinese)
- 孙书存, 陈灵芝. 2000. 辽东栎幼苗对干旱和去叶的生态反应的初步研究. 生态学报, 20 (5): 893 - 897.
- Wang Miao, Dai Limin, Ji Lan-zhu, Li Qiu-rong. 2001. A preliminary study oil ecological response of dominant tree species in Kure-an pine broadleaf forest at Changbai Mountain to soil water stress and their biomass allocation. Chinese Journal of Applied Ecology, 12 (4): 496 - 500. (in Chinese)
- 王 淼, 代力民, 姬兰柱, 李秋荣. 2001. 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. 应用生态学报, 12 (4): 496 - 500.
- Wang Yu-mei, Ren An-xiang, Pan Chun-xiang, Takano Taikichi. 2002. The effects of anion on plant growth and quantity of essential oil in *Foeniculum vulgare*. Plant Physiology Communications, 38 (3): 270 - 273. (in Chinese)
- 王羽梅, 任安祥, 潘春香, 高野泰吉. 2002. 阴离子对球茎茴香生长和精油含量的影响. 植物生理学通讯, 38 (3): 270 - 273.
- Wu Mei-han, Nie Ling-yun, Liu Yun, Zhang Lei, Wei Li-ping. 2001. Study on chemical components of essential oil in fruits fennel from ten different areas by GC - MS. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 21 (6): 415 - 418. (in Chinese)
- 吴玫涵, 聂凌云, 刘 云, 张 雷, 魏立平. 2001. 气相色谱—质谱法分析不同产地茴香药材挥发油成分. 药物分析杂志, 21 (6): 415 - 418.
- Xiao Yan-hui, He Jin-ming, Wang Yu-mei. 2007. Effect of light intensity on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Plant Physiology Communications, 43 (3): 551 - 555. (in Chinese)
- 肖艳辉, 何金明, 王羽梅. 2007. 光照强度对茴香植株生长以及精油的含量和成分的影响. 植物生理学通讯, 43 (3): 551 - 555.
- Xu Zhen-zhu, Zhou Guang-sheng, Xiao Chun-wang, Wang Yu-hui. 2005. Interactive effects of doubled atmospheric CO₂ concentrations and soil drought on whole plant carbon allocation in two dominant desert shrubs. Acta Phytocologica Sinica, 29 (2): 281 - 288. (in Chinese)
- 许振柱, 周广胜, 肖春旺, 王玉辉. 2005. CO₂浓度倍增和土壤干旱对两种幼龄沙生灌木碳分配的影响. 植物生态学报, 29 (2): 281 - 288.
- Zhao Shu-ping, Cong Pu-zhu, Quan Li-hui. 1989. The quality study of fennel essential oil. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 12 (9): 31 - 32. (in Chinese)
- 赵淑平, 丛浦珠, 权丽辉. 1989. 小茴香挥发油的质量研究. 中药材, 12 (9): 31 - 32.
- Zhao Shu-ping, Cong Pu-zhu, Quan Li-hui. 1991. Chemical studies on the essential oils of *Foeniculum vulgare*. Acta Botanica Sinica, 33 (1): 82 - 84. (in Chinese)
- 赵淑平, 丛浦珠, 权丽辉. 1991. 小茴香挥发油的成分. 植物学报, 33 (1): 82 - 84.

图书推荐

《中国蔬菜品种志》

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主编, 已于 2002 年 9 月出版发行。全书分上、下卷, 1~6 章为上卷, 包括根菜类、白菜类、芥菜类、甘蓝类、绿叶菜类及葱蒜类, 计 2 263 个品种, 1 347 页; 7~12 章为下卷, 包括瓜类、茄果类、豆类、薯芋类、水生蔬菜类和多年生蔬菜类, 计 2 550 个品种, 1 177 页。入志的品种中, 地方品种占 90% 以上, 少量在全国栽培时间较长、种植面积较大的一代杂种也选入其中。本书较全面系统而又有重点地反映了中国丰富的蔬菜品种资源概貌、研究成果及育种水平, 可供蔬菜科研、教学、生产及种子公司、农业行政单位的人员参考。本书出版后受到读者普遍好评, 现尚有少量存书, 特以优惠价格 490 元 (上、下卷) 提供给读者 (原价 980 元)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所 《园艺学报》编辑部, 邮编 100081。