

光照长度对茴香植株生长及精油含量和组分的影响

何金明¹, 肖艳辉¹, 王羽梅^{1,*}, 潘春香¹, 庞琢²

(1. 韶关学院英东生物工程学院农业科学系, 广东韶关 512005; 2. 呼和浩特市土壤肥料工作站, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要: 采用人工遮光的方法, 设计 3 个光照长度: 从 15:00 遮光、17:00 遮光和不遮光, 研究不同光照长度对茴香生长和精油含量及组分的影响。结果表明: 茴香株高、植株节数、鲜重均以 17:00 遮光较高, 不遮光次之, 15:00 遮光较低; 茴香植株干重、全碳含量、可溶性糖含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量和叶绿素 a/叶绿素 b 均随光照长度的增加而增加; 全氮含量、蛋白氮含量随光照长度的增加而减小; 精油含量(0.61—1.20 mL·(100g)⁻¹ DM)、单株精油产量(0.007—0.021 mL)随光照长度的增加而增加, 且处理间差异显著。精油共鉴定出 22 种成分, 不同光照长度处理的茴香精油成分种类没有差别, 且大多数成分的相对含量差异不显著。精油第一主要成分反式-茴香脑含量为 47.40%—48.51%, 第二主要成分柠檬烯含量为 31.69%—33.26%, 处理之间差异均不显著。

关键词: 光照长度; 茴香; 生长; 精油

Effect of light length on plant growth, content and component of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

HE Jinming¹, XIAO Yanhui¹, WANG Yumei^{1,*}, PAN Chunxiang¹, PANG Zhuo²

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

2 Soil and Fertilizer Station of Hohhot, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China

Abstract: This experiment was conducted to explore the effects of different light length on plant growth, content and component of essential oil in fennel using the method of shading. The experiment included three kinds of light length treatment: shading at 15:00, shading at 17:00 and no shading. The results showed that plant height, number of nodes and fresh weight of fennel plants shaded at 17:00 were the highest, the plants not be shaded were the second, and the plants shaded at 15:00 were the lowest. Plant dry weight, total carbon content, soluble sugar content, Chl. a, Chl. b and CAR. contents and Chl. a/b were all elevated with light length increased, while total nitrogen and proteinic nitrogen contents were contrary to that. Essential oil content and yield per plant were increased with increase of light length, and that, it was significant difference among the three treatments. Twenty-two essential oil compounds were identified, and there were no difference among different treatments. Most of the essential oil component and their relative amount were no significant differences. The content of (E)-anethole, the dominant essential oil compound, was 47.40% to 48.51%, limonene, the second essential oil compound, was 31.69% to 33.26%, there were no significant differences in three treatments.

Key Words: light length; fennel; 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 1000 多年的引种栽培历史。我国茴香播种面积约 10 000 hm²,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。茴香精油广泛应用于医药学、化妆品和食品添加剂等方面^[1]。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370151); 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2009MS0311)

收稿日期: 2008-12-17; **修订日期:** 2009-07-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wym990@vip.sina.com

精油含量和成分是衡量茴香质量最重要的指标之一。作为次生代谢产物——精油的积累和组分与初生代谢密不可分。许多外界条件都可以通过影响植物初生代谢进而影响植物次生代谢产物的积累。如施肥量、施肥方式、氮源、矿质离子浓度、 CO_2 浓度等对茴香精油成分的相对含量有一定影响^[2-6],不同产地茴香精油含量和组分不同^[7-9],这都是由于茴香生长所处的综合生态条件不同所引起的。光照条件作为影响植物生长发育的重要生态因子之一,必然也会对植物次生代谢产物的累积产生影响。光照条件可以分为光质(光谱组成)、光照强度和光照长度3个方面,其中光质和光照强度对植物次生代谢的影响已有相应报道:在温室内用蓝膜、绿膜、红膜和黄膜等4种滤光膜处理高山红景天后,红膜和绿膜处理能提高红景天甙的含量和产量,而黄膜处理则降低了红景天甙的含量和产量,蓝膜处理几乎没有效果^[10];不同光照强度影响茴香精油含量和组成比例,在较强光照下生长的茴香,无论是生物产量,还是精油含量和单株精油产量均为最高^[11]。光质和光照强度影响植物次生代谢产物的积累,而作为光照条件之一的光照长度对植物次生代谢的影响却鲜有报道。是光照时间越长,越有利于植物次生代谢产物的积累,还是只要尽可能满足了较强的光照或特殊的光质,而不必满足较长的光照时间,同样有利于植物次生代谢产物的积累,这都需要进一步研究。因此,本文以茴香为试材,用不同光照长度进行处理,通过分析茴香植株精油含量和组分来研究光照长度对植物次生代谢产物累积的影响,以期能为植物次生代谢产物积累的研究提供参考。

从2001年开始,开始引种内蒙古小茴香,经过播种期调整、栽培技术改进等措施,于2002年引种栽培成功。引种到韶关的内蒙古小茴香以秋种(10月份至11月份)春收(3月份至4月份)为最好,露地可以安全越冬,与原产地相比,植株高大,产量略低。

1 材料与方法

1.1 植物材料及处理

(1)以内蒙古小茴香(2004年采种于内蒙古托县)为试材,实验场地为广东省韶关学院生态园。2004年8—11月做预备实验,2005年3月开始正式实验。

2005年3月7日育苗,3月18日选整齐一致秧苗(形态为2片子叶展开,第1心叶微露)分苗至 $21\text{cm} \times 24\text{cm}$ (高 $\times$ 直径)的陶制花盆中,4株/盆。2005年5月3日(6片真叶)选相对整齐一致的秧苗进行不同光照长度处理:处理1为每天15:00—20:00遮光;处理2为每天17:00—20:00遮光;处理3为不遮光。每处理20盆,3次重复。

(2)具体遮光处理方法 将遮光处理的花盆摆放整齐,外加小拱棚(规格:长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=2.5\text{m} \times 1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$),其上覆盖红黑双层绒布,绒布外覆盖黑色塑料膜以防雨。

(3)栽培营养土的配比为水稻土:腐殖质 $=7:3$,每立方米营养土中加N、P、K复合肥 1.5kg ($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$)。处理约60d,7月6日取植株(盛花期)鲜样测定形态指标(株高、节数、植株鲜重和干重),并提取精油及分析生理指标。

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^[12],并做适当的改进:取全草用水洗净,吹干表面水迹,切成 0.5cm 左右的小段,准确称重 150g ,置于 1000mL 的硬底烧瓶中,加入 700mL 水,微沸蒸馏 3h 。蒸馏时用装有 10mL 正己烷(色谱纯)的接受管(最小刻度为 0.02mL)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,回收正己烷溶液,用无水硫酸钠干燥,过滤,定容至 11mL 。每一处理蒸馏3次,取其平均值。精油的正己烷溶液用棕色瓶封装,于 -20°C 下保存。样品烘干至恒重,计算样品的干物率,用 $\text{mL} \cdot (100\text{g})^{-1}\text{DW}$ 表示精油的含量。

1.3 精油成分分析

在吴玫涵等方法^[9]的基础上,进行适当的改进:取茴香精油的正己烷溶液 $50\mu\text{L}$ 稀释至 3mL ,进行气质联用仪(Gas Chromatograph / Mass Spectrometer, GC/MS)分析(Trace GC-2000/DSQ, Thermo Finnigan, USA)。GC条件为:DB5石英毛细管柱($30\text{m} \times 0.25\text{mm} \times 0.25\mu\text{m}$);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 μL;程序升温为柱温 40 ℃,保持 1 min,从 10 ℃·min⁻¹ 升高到 200 ℃·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 μA。

在参考前人工作的基础上^[13-15],计算成分的保留系数,同时结合 NIST 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^[16];全氮与蛋白氮含量用微量凯氏定氮法测定^[17];全碳用 K₂Cr₂O₇ 容量法测定^[18];叶绿素含量用比色法^[19]测定。

1.5 数据分析

所得数据采用 SPSS 软件包进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法进行平均数的显著检验。

2 结果与分析

2.1 光照长度对茴香某些生长指标的影响

茴香株高、节数和鲜重具有相同的变化趋势,由低到高的顺序均为 15:00 遮光、不遮光和 17:00 遮光。差异性分析表明,除全株鲜重差异不显著外,株高和节数均达到显著或极显著差异水平,并且均表现为 17:00 遮光处理显著(株高)或极显著(节数)高于 15:00 遮光处理,而不遮光处理与以上二者之间差异不显著(表 1)。

全株干重和干物率的变化与光照长度变化一致,即随光照长度的增加而增加。差异性分析表明,全株干重为不遮光和 17:00 遮光处理显著高于 15:00 遮光处理,而干物率则为处理之间彼此差异极显著(表 1)。

表 1 不同光照长度对茴香生长指标的影响(平均值 ± 标准差)

Table 1 Effect of different light length on growth indexes of fennel (Mean ± SD)

光照长度 Light length	株高/cm Plant height	节数 Number of nodes	全株鲜重/g Plant FW	全株干重/g Plant DW	干物率/% Ratio of DM
15:00 遮光 Shading at 15:00	45.50 ± 7.92 ^{Ab}	9.94 ± 1.69 ^{Bb}	7.00 ± 2.58 ^a	1.09 ± 0.40 ^{Ab}	15.50 ± 0.57 ^{Cc}
17:00 遮光 Shading at 17:00	51.25 ± 6.89 ^{Aa}	11.44 ± 1.15 ^{Aa}	8.85 ± 2.95 ^a	1.55 ± 0.52 ^{Aa}	17.49 ± 0.16 ^{Bb}
不遮光 No shading	47.88 ± 7.75 ^{Aab}	10.81 ± 1.17 ^{ABab}	8.67 ± 2.73 ^a	1.78 ± 0.56 ^{Aa}	20.12 ± 0.73 ^{Aa}

各列数字后字母表示 Duncan's 检测的差异水平,小写字母表示 0.05 显著水平;大写字母表示 0.01 显著水平;下同

2.2 光照长度对茴香精油含量、产量和生理指标的影响

随光照长度的延长,茴香精油含量(0.61—1.20 mL·(100g)⁻¹ DM)、单株精油产量(0.007—0.021 mL)、可溶性糖含量(3.37%—4.55%)和全碳含量(15.67%—17.83%)随之增加,由低到高的顺序为 15:00 遮光处理、17:00 遮光处理和不遮光处理。差异性分析表明,全碳含量为 3 个处理彼此差异不显著;精油含量为不遮光处理和 17:00 遮光处理差异不显著,但二者显著高于 15:00 遮光处理;而单株精油产量、可溶性糖含量为 3 个处理均达到显著差异水平(表 2)。

表 2 不同光照长度对茴香精油含量、产量以及一些生理指标的影响(平均值 ± 标准差)

Table 2 Effect of different light length on essential oil contents, yield and physiological indexes of fennel (Mean ± SD)

光照长度 Light length	精油含量 (mL·(100g) ⁻¹ DM) Essential oil contents	可溶性糖/% Soluble sugar	全氮/% Total nitrogen	蛋白氮/% Protein nitrogen	全碳/% Total carbon	单株精油产量/mL Yield of essential oil per plant
15:00 遮光 Shading at 15:00	0.61 ± 0.07 ^{Ab}	3.37 ± 0.19 ^{Bc}	0.20 ± 0 ^{Aa}	0.14 ± 0 ^{Aa}	15.67 ± 1.01 ^a	0.007 ± 0.002 ^{Bc}
17:00 遮光 Shading at 17:00	0.99 ± 0.19 ^{Aa}	3.78 ± 0.15 ^{Bb}	0.16 ± 0 ^{Bb}	0.12 ± 0 ^{Bb}	16.50 ± 1.31 ^a	0.015 ± 0.005 ^{Ab}
不遮光 No shading	1.20 ± 0.14 ^{Aa}	4.55 ± 0.21 ^{Aa}	0.15 ± 0 ^{Cc}	0.11 ± 0 ^{Bb}	17.83 ± 1.15 ^a	0.021 ± 0.006 ^{Aa}

随光照长度的延长,全氮含量(0.20%—0.15%)和蛋白氮含量(0.14%—0.11%)随之减少,由高到低的顺序为 15:00 遮光处理、17:00 遮光处理和不遮光处理。差异性分析表明,全氮含量为 3 个处理彼此差异极

显著,蛋白氮含量为 17:00 遮光处理和不遮光处理差异不显著,但二者显著低于 15:00 遮光处理(表 2)。

随着光照长度的增加,茴香叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 和类胡萝卜素含量以及叶绿素 a/叶绿素 b 均随之增加。差异性分析表明,叶绿素 a 含量(0.89—1.18 mg·g⁻¹ FW)、叶绿素 b 含量(0.40—0.50 mg·g⁻¹ FW)和叶绿素 a + b 含量(1.30—1.68 mg·g⁻¹ FW)为 3 个处理之间差异不显著;类胡萝卜素含量则表现为不遮光处理显著高于 15:00 遮光处理;叶绿素 a/叶绿素 b(2.16—2.38)为 3 个处理差异均达显著水平(表 3)。

表 3 不同光照长度对茴香色素含量的影响(平均值 ± 标准差)

Table 3 Effect of different light length on contents of chlorophyll and carotenoids (Mean ± SD)

光照长度 Light length	叶绿素 a /(mg·g ⁻¹ FW) Chl. a	叶绿素 b /(mg·g ⁻¹ FW) Chl. b	叶绿素 a + b /(mg·g ⁻¹ FW) Chl. a + b	类胡萝卜素 /(mg·g ⁻¹ FW) Carotenoids	叶绿素 a/叶绿素 b /(mg·g ⁻¹ FW) Chl a/ Chl b ratio
15:00 遮光 Shading at 15:00	0.89 ± 0.19 ^a	0.41 ± 0.09 ^a	1.30 ± 0.12 ^a	0.19 ± 0.02 ^{Ab}	2.16 ± 0.02 ^{Bc}
17:00 遮光 Shading at 15:00	0.90 ± 0.13 ^a	0.40 ± 0.05 ^a	1.30 ± 0.008 ^a	0.19 ± 0.02 ^{Aab}	2.23 ± 0.04 ^{Bb}
不遮光 No shading	1.18 ± 0.11 ^a	0.50 ± 0.05 ^a	1.68 ± 0.09 ^a	0.23 ± 0.02 ^{Aa}	2.38 ± 0.10 ^{Aa}

2.3 光照长度处理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总峰面积的 98% 以上。不同光照长度处理茴香植株精油主要成分(在 1% 以上)种类稍有不同,其中 15:00 遮光处理为 6 种,含量由高到低依次为反式-茴香脑、柠檬烯、蒈烯、水芹烯、草蒿脑和 γ-蒈品烯;17:00 遮光处理为 7 种,含量由高到低依次为反式-茴香脑、柠檬烯、水芹烯、蒈烯、草蒿脑和 γ-蒈品烯;不遮光处理为 8 种成分,含量由高到低依次为反式-茴香脑、柠檬烯、蒈烯、水芹烯、γ-蒈品烯、草蒿脑、蒈品油烯和对聚伞花素,其中反式-茴香脑和柠檬烯 2 种成分的含量占到精油的 80% 左右(表 4、图 1)。

表 4 不同光照长度对茴香精油组分的影响(平均值 ± 标准差)

Table 4 Effect of different light length on essential oil components of fennel (Mean ± SD)

序号 Sequence	化合物 Components	15:00 遮光 Shading at 15:00	17:00 遮光 Shading at 17:00	不遮光 No shading
1	α-蒈烯 α-Pinene	0.54 ± 0.14 ^{Bb}	2.13 ± 0.45 ^{Aa}	0.54 ± 0.09 ^{Bb}
2	香桉烯 Sabinene	0.10 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^a
3	β-蒈烯 β-Pinene	0.13 ± 0.04 ^{Bb}	0.29 ± 0.06 ^{Aa}	0.12 ± 0.02 ^{Bb}
4	月桂烯 Myrcene	0.43 ± 0.05 ^{Aab}	0.50 ± 0.02 ^{Aa}	0.41 ± 0.02 ^{Ab}
5	水芹烯 Phellandrene	3.98 ± 2.23 ^a	4.71 ± 0.17 ^a	5.36 ± 0.22 ^a
6	对聚伞花素 p-Cymene	0.75 ± 0.60 ^a	0.47 ± 0.06 ^a	1.08 ± 0.10 ^a
7	柠檬烯 Limonene	33.23 ± 5.99 ^a	33.26 ± 1.15 ^a	31.69 ± 2.51 ^a
8	罗勒烯 Ocimene	0.09 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^a
9	γ-蒈品烯 γ-Terpinene	1.83 ± 0.17 ^a	1.80 ± 0.11 ^a	1.77 ± 0.10 ^a
10	蒈品油烯 Terpinolen	0.83 ± 0.40 ^a	0.95 ± 0.07 ^a	1.11 ± 0.14 ^a
11	3,4-二甲基-2,4,6-三烯 2,4,6-Octatriene, 3,4-dimethyl-	0.10 ± 0.04 ^a	0.16 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.04 ^a
12	草蒿脑 Estragole	1.87 ± 0.03 ^{Aa}	1.86 ± 0.03 ^{Aa}	1.68 ± 0.07 ^{Bb}
13	蒈醇乙酸酯 Fenchyl acetate	0.16 ± 0.03 ^a	0.11 ± 0.04 ^a	0.20 ± 0.02 ^a
14	反式蒈醇乙酸酯 tran-Fenchyl acetate	0.01 ± 0 ^{Bb}	0.40 ± 0.07 ^{Aa}	0.38 ± 0.03 ^{Aa}
15	顺式-茴香脑(Z)-Anethole	0.46 ± 0.03 ^a	0.35 ± 0.04 ^a	0.21 ± 0.01 ^a
16	反式-茴香脑(E)-Anethole	48.51 ± 0.34 ^a	47.86 ± 2.25 ^a	47.40 ± 1.12 ^a
17	古巴烯 Copaene	0.06 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a
18	雪松烯 Cedrene	0.04 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a
19	金合欢烯 Farnesene	0.14 ± 0.07 ^a	0.13 ± 0.03 ^a	0.13 ± 0.05 ^a
20	吉玛烯 D Germacrene D	0.42 ± 0.20 ^a	0.34 ± 0.06 ^a	0.43 ± 0.12 ^a
21	肉豆蔻醚 Myristicin	0.12 ± 0.09 ^a	0.09 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.04 ^a
22	蒈烯 Dill Apinol	4.69 ± 3.24 ^a	3.26 ± 0.43 ^a	5.72 ± 1.16 ^a
合计 Total		98.29 ± 0.43 ^a	98.95 ± 0.10 ^a	98.75 ± 0.07 ^a

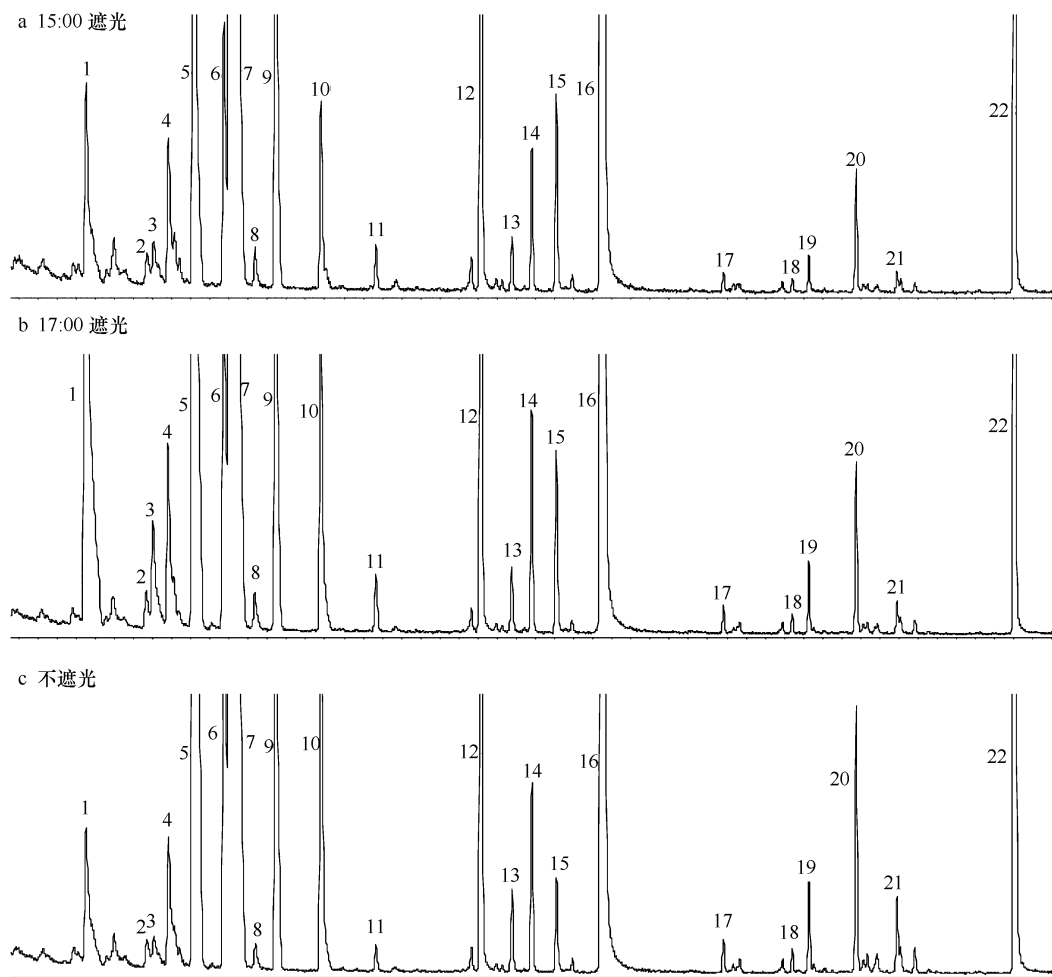


图1 不同光照长度处理茴香精油的色谱图

Fig. 1 Chromatogram of fennel essential oil under different light length

不同光照长度处理茴香,其精油成分种类没有差异,并且多数成分相对含量差异不显著,只有个别成分相对含量达到显著或极显著差异,具体有: α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、草蒿脑和反式葑醇乙酸酯(表4、图1)。

精油第一主要成分反式-茴香脑(47.40%—48.51%)的相对含量随光照长度的延长而增加,15:00遮光处理和17:00遮光处理分别比不遮光处理增加1.11%和0.46%,第二主要成分柠檬烯(31.69%—33.26%)的相对含量随光照长度的延长而减少,二者含量在处理间的差异均未达到显著水平(见表4、图1)。

按照分子结构,茴香精油成分可分为三大类,即单萜类化合物、含氧化合物和倍半萜类化合物,其中单萜类化合物包括 α -蒎烯、香桉烯、 β -蒎烯、月桂烯、水芹烯、对聚伞花素、柠檬烯、罗勒烯、 γ -萜品烯、萜品油烯和3,4-二甲基-2,4,6-三烯;含氧化合物包括草蒿脑、葑醇乙酸酯、反式葑酮乙酸酯、顺式-茴香脑、反式-茴香脑、肉豆蔻醚、蒎罗芹菜脑;倍半萜类化合物包括古巴烯、雪松烯、金合欢烯和吉玛烯D。不同光照长度处理茴香精油单萜类化合物含量在42.01%—44.31%之间,含氧化合物含量在54.09%—55.73%之间,倍半萜类化合物含量在0.55%—0.66%之间,差异均不显著(表5)。

3 讨论

在韶关地区自然光照长度的基础上缩短光照长度,研究不同光照长度对茴香植株生长及精油含量和组分的影响,结果表明,随着光照长度的不断增加,茴香干重、精油含量和单株精油产量相应不断增加。因此认为较长的光照时间对茴香的干物质积累和精油的积累有利。

韩天富等对大豆的研究表明,开花后延长光照,可使蛋白质含量下降^[20],本研究结果与此相似:随着光照

长度的增加,茴香植株中全氮含量和蛋白氮含量均呈下降趋势,而可溶性糖和全碳含量则相反,随着光照长度的增加而上升。可溶性糖和全碳含量的变化与精油含量变化的趋势相同,这与不同光照强度对茴香植株生长、精油含量及成分影响研究^[11]结果一致。

表 5 不同光照长度处理下茴香精油三类成分相对含量的变化(平均值 $\pm$ 标准差)/%

Table 5 Changes of relative content of three kinds components of essential oil under different light length (Mean $\pm$ SD)/%

成分 Components	15:00 遮光 Shading light at 15:00	17:00 遮光 Shading light at 17:00	不遮光 No shading
单萜类 Monoterpenes	42.01 $\pm$ 3.24 ^a	44.31 $\pm$ 1.78 ^a	42.38 $\pm$ 2.37 ^a
含氧化合物 Oxygenated compounds	55.62 $\pm$ 3.38 ^a	54.09 $\pm$ 1.79 ^a	55.73 $\pm$ 2.24 ^a
倍半萜类 Sesquiterpenes	0.66 $\pm$ 0.29 ^a	0.55 $\pm$ 0.09 ^a	0.64 $\pm$ 0.19 ^a

与不遮光相比,遮光处理叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量和叶绿素 a+b 含量均有所降低,色素含量的降低,可能是茴香对缩短光照长度的反应。叶绿素 a/b 的比值随光照长度的缩短而降低,说明叶绿素 a 含量的降低速率高于叶绿素 b 含量的降低速率。随着光照长度的缩短,茴香色素含量不断降低,这与降低光照强度色素含量升高的报道^[11]相反;而随着光照长度的缩短,叶绿素 a/b 的比值不断降低,这与随着光照强度降低叶绿素 a/b 的比值随之降低的报道一致,说明叶绿素 a 含量比叶绿素 b 含量更容易受到外界条件的影响。

总之,随光照时间的延长,茴香的生物产量、精油含量、可溶性糖含量、全碳含量以及色素含量也有所增加,可能的原因是由于增加光照时间,进而增加了光合作用的时间或提高了光合速率,导致光合产物增加,在本研究的测试指标中具体表现为可溶性糖含量和全碳含量的增加,在宏观上表现为植株生物产量的增加,其中光合产物中非结构性碳氢化合物(如可溶性糖)作为合成次生代谢产物前体的底物,其含量(浓度)增加,可以提供较多的次生代谢产物的合成前体,从而可以促进植物次生代谢产物的积累。

不同光照长度处理的茴香精油,其大多数成分相对含量差异不显著,只有个别含量很少的成分(α -蒎烯、 β -蒎烯、草蒿脑、反式葑醇乙酸酯和月桂烯)的相对含量表现出显著或极显著的差异,这与不同光照强度处理的研究结果一致^[11],因此认为不同光照强度、光照长度处理均不影响茴香精油的质量。

由于延长光照长度和增加光照强度,可以提高茴香精油的含量和产量,因此,在能满足茴香正常生长发育的前提下,应尽可能将其种植在较长光照长度和较强光照强度的地区。

References:

- [1] He J M, Wang Y M, Zhuo L H, Guo Y. Study on the factors effecting essential oil content and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(2): 348-351.
- [2] Khan M M A, Azam Z M, Samiullah. 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, 1999, 79 (4): 587-591.
- [3] Atta-Aly M A. Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source of nitrogen fertilizer. Scientia Horticulturae, 2001, 88(3): 191-202.
- [4] Wang Y M, Ren A X, Pan C X, TAKANO Taikichi. The effects of anion on plant growth and quantity of essential oil in *Foeniculum vulgare*. Plant Physiology Communications, 2002, 38(3): 270-273.
- [5] Singh P K, Chowdhury A R, Garg V K. Yield and analysis of essential oil of some spice crops grown in sodic soils. Indian Perfumer, 2002, 46 (1): 35-40.
- [6] Ren A X, He J M, Xiao Y H, Wang Y M. Effects of CO₂ concentration on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*). Journal of Plant Ecology, 2008, 32(3): 698-703.
- [7] Arslan N, Bayrak A, Akgül A. The yield and components of essential oil in fennels of different origin (*Foeniculum vulgare* Mill.) grown in Ankara conditions. Herba Hungarica, 1989, 28(3): 27-31.
- [8] Akgül A, Bayrak A. Comparative volatile oil composition of various parts from Turkish bitter fennel (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*). Food

- Chemistry, 1988, 30: 319-323.
- [9] Wu M H, Nie L Y, Liu Y, Zhang L, Wei L P. Study on chemical components of essential oil in fennel fruits from ten different areas by GC-MS. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2001, 21(6): 415-418.
- [10] Yan X F, Wang Y, Shang X H. Effects of greenhouse light intensity and quality on biomass and salidroside content in roots of *Rhodiola sachalinensis*. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 841-849.
- [11] Xiao Y H, He J M, Wang Y M. Effect of light intensity on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Plant Physiology Communications, 2007, 43(3): 551-555.
- [12] Compilation Committee of Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Vol. I. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 35.
- [13] Zhao S P, Cong P Z, Quan L H. The quality study of fennel essential oil. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1989, 12(9): 31-32.
- [14] Zhao S P, Cong P Z, Quan L H. Chemical studies on the essential oils of *Foeniculum vulgare*, Acta Botanica sinica, 1991, 33(1): 82-84.
- [15] Mimica-Dukic N, Kujundzic S, Sokovic M, Couladis M. Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. Phytotherapy Research, 2003, 17: 368-371.
- [16] Li H S. Experimental theory and technology of plant physiology and biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2000: 171-174.
- [17] Institute of Plant Physiology of Shanghai for Chinese Academy of Science, Plant physiology academy of Shanghai. Laboratory manuals of modern plant physiology. Beijing: Science Press, 1999: 133-134.
- [18] Agricultural committee of Soil Science Society of China. Routine analysis method of soil agricultural chemistry. Beijing: Science Press, 1983: 272-273.
- [19] Hao Z B, Cang J, Xu Z. Plant physiology experiment. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004: 46-49.
- [20] Han T F, Wang J L, Yang Q K, Gai J Y. Effects of post-flowering photoperiod on chemical composition of soybeans. Scientia Agricultural Sinica, 1997, 30(2): 47-53.

参考文献:

- [1] 何金明, 王羽梅, 卓丽环, 郭园. 茴香精油含量和质量影响因素的研究进展. 园艺学报, 2005, 32(2): 348-351.
- [4] 王羽梅, 任安祥, 潘春香, 高野泰吉. 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, 2002, 38(3): 270-273.
- [6] 任安祥, 何金明, 肖艳辉, 王羽梅. 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, 2008, 32(3): 698-703.
- [8] 吴孜涵, 裴凌云, 刘云, 张雷, 魏立平. 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, 2001, 21(6): 415-418.
- [10] 阎秀峰, 王洋, 尚辛亥. 温室栽培光强和光质对高山红景天生物量和红景天甙含量的影响. 生态学报, 2003, 23(5): 841-849.
- [11] 肖艳辉, 何金明, 王羽梅. 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, 2007, 43(3): 551-555.
- [12] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 中华人民共和国药典(第一卷). 北京: 化学工业出版社, 2005: 35.
- [13] 赵淑平, 丛浦珠, 权丽辉. 小茴香挥发油的质量研究. 中药材, 1989, 12(9): 31-32.
- [14] 赵淑平, 丛浦珠, 权丽辉. 小茴香挥发油的成分. 植物学报, 1991, 33(1): 82-84.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 171-174.
- [17] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999: 133-134.
- [18] 中国土壤学会农业专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983: 272-273.
- [19] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 46-49.
- [20] 韩天富, 王金陵, 杨庆凯, 盖钧益. 开花后光照长度对大豆化学品质的影响. 中国农业科学, 1997, 30(2): 47-53.