

研究报告 Original Papers

不同氮素形态及对比对薄荷精油含量和品质的影响

李娟娟¹, 王羽梅^{2,*}, 潘春香², 肖艳辉², 何金明²¹西安市临潼区穆寨畜牧兽医站, 西安710000; ²韶关学院英东生物工程学院, 广东韶关512005

摘要: 实验模仿深液流栽培技术, 研究了硝态氮和铵态氮不同对比对薄荷精油含量和品质的影响。结果表明, 不同氮素形态对比对薄荷精油成分影响不大, 但随着硝态氮和铵态氮的比例下降, 精油含量呈先降低后上升的趋势, 其中, T1处理下的精油含量最高, T3处理下的精油含量最小; 精油组成成分中柠檬烯的相对含量逐渐增加, 为39.42%~44.15%; 香芹酮的相对含量逐渐下降, 为36.91%~40.78%; 全氮、蛋白质的含量增加, 碳氮比减小。因此, 生产上可以通过增加硝态氮的施用量来增加薄荷的精油含量, 通过施肥调节精油各成分相对含量和生理特性。

关键词: 薄荷; 精油; 氮素形态; 成分; 品质

薄荷属(*Mentha* L.)是唇形科多年生或稀为一年生芳香草本植物, 全球约有30种, 我国现有12种, 其中6种为野生, 包括椒样薄荷、欧薄荷、留兰香、圆叶薄荷和唇萼薄荷等(中国科学院中国植物志编辑委员会1977)。薄荷属植物是一种用途广泛的中药材, 也是世界上主要的香料植物之一(王小敏等2007)。薄荷作为中药, 具有疏散风热, 清热解表, 祛风消肿, 利咽止痛, 透疹, 疏肝解郁之功效。薄荷精油广泛应用于医药、食品、饮料、化妆、卷烟及日用品等方面(黄蔚2002; 陆燕2007; 张吉通2007)。

氮是植物体内许多重要有机化合物的组成成分, 例如蛋白质、核酸、叶绿素、酶、维生素、生物碱和一些激素等都含有氮素。氮素也是遗传物质的基础。因此, 如果植物不能吸收到足够量的氮素, 势必会影响植物的生长发育和生理代谢。氮素对植物生长发育、产量形成与品质好坏有极为重要的作用(田霄鸿和李生秀2000)。氮不但影响精油的含量, 而且对精油成分也有一定影响。Baranauskiene (2003)报道施入不同氮肥的百里香精油个别成分有变化, 特别是脂溶性的化合物, 如倍半萜类。

在生产过程中, 发现氮肥以及氮素形态对薄荷精油产量和品质有较大的影响。Letchamo (1993)研究表明, 不同氮素形态影响薄荷精油含量。尿素、铵态氮和硝态氮的大田比较试验结果表明, 硝酸钙效果最好, 精油产量比尿素的高5.9 kg·hm⁻², 比硫酸铵的高 8.0 kg·hm⁻²。史宏志等(1995)研究表明, 氮素营养水平较低时, 烟叶中碳

水化合物降解后转化形成的低分子量的精油成分的含量增加。随着氮水平的提高, 由类胡萝卜素、西柏三烯和苯丙氨酸降解转化形成的香气成分的含量也有所增加。碳氮代谢较为协调时其精油含量最高, 而无机氮的施用量过高时, 会引起香气质量变劣、刺激性增强等变化。虽然精油成分中含氮化合物所占比例很小, 且这些成分的含量也较少, 但它们往往具有很强的气味, 可以引起芳香气味的改变, 从而影响精油的质量。因此, 在芳香植物施肥过程中应予以考虑。不过Letchamo (1993)的研究表明不同氮水平对甘菊的精油成分没有影响。可见, 不同种芳香植物对施氮量的反应是不同的。

由前人研究结果可知, 多数研究都是在氮素水平和氮形态对精油含量和精油成分的影响上, 而有关水培条件下不同氮素形态及配比的研究尚未见报道。本研究以改良霍格兰配方为基础, 探讨了不同氮素形态及对比对薄荷一些生理指标、精油含量以及品质的影响, 为制定其优质高产栽培技术规范提供理论依据。

材料与方法

1 实验材料

以韶关学院生态园的柠檬留兰香(*Mentha citrata* Ehrh.)为供试材料, 于2011年4月25日进行扦插

收稿 2015-09-15 修定 2016-01-13

资助 国家自然科学基金(30370151)。

* 通讯作者(E-mail: wym990@vip.sina.com)。

插, 5月11日开始移栽, 5月21日开始进行正式处理, 处理25 d后, 于6月15日开始取样测定。

2 实验方法

模仿深液流栽培技术, 设备由定植箱和空气压缩泵组成。以改良霍格兰配方为基础, 设置处

理营养液时, 只改变处理元素的浓度, 其他元素浓度基本保持不变。以氮素形态不同配比设5个处理, 硝态氮和铵态氮比例分别为设为15:0、12:3、7.5:7.5、3:12、0:15, 分别记为T1、T2、T3、T4、T5。营养液大量元素配方如表1所示。

表1 不同氮素形态配比营养液大量元素配方

Table 1 Mass elements of nutrient solution of different nitrogen forms

配方	盐类浓度/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$									$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	KNO_3	NaNO_3	NH_4NO_3	KCl	CaCl_2	NH_4Cl	KH_2PO_4	MgSO_4	
T1	4	5	2	0	0	0	0	1	1	15:0
T2	2	5	0	3	0	2	0	1	1	12:3
T3	0	0	0	7.5	5	4	0	1	1	7.5:7.5
T4	0	0	0	3	5	4	9	1	1	3:12
T5	0	0	0	0	5	4	15	1	1	0:15

3 测定指标与方法

3.1 精油的提取

精油提取采用水蒸馏法(肖艳辉等2007)。为了减少精油的挥发, 我们在常规的方法上进行了改进, 即把接收精油常用的三角瓶改为试管。取薄荷植株地上部分全株鲜样, 将其切碎, 称取100 g, 放于蒸馏瓶中, 加水600 mL。油水分离器中加入正己烷体积约为2 mL, 下层为蒸馏水, 调整油水分离器从量管上面读出正己烷的体积并记录, 然后开始蒸馏, 等到球形冷凝管下面滴下第一滴液体时开始计时, 蒸馏3 h, 经冷凝管冷凝的精油和水的混合物在经过正己烷时发生萃取。蒸馏结束后, 取下量管, 静置15 min, 再读出正己烷的体积并记录。每一处理重复3次。

为了减少鲜样中水分含量的差异所造成的误差, 每次蒸馏时取其鲜样进行烘干, 计算出鲜样的含水量, 将精油含量用 $\text{mL}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ (DW)表示。

3.2 可溶性糖含量的测定

可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定(李合生等2000)。具体过程如下: 称取干样0.2 g于试管中, 加蒸馏水5 mL, 在沸水浴中煮沸30 min, 取出冷却, 过滤入25 mL容量瓶中, 用水冲洗残渣数次, 定容至刻度。取待测液0.5 mL于试管中, 加入1.5 mL蒸馏水, 蒽酮乙酸乙酯试剂0.5 mL和浓硫酸5 mL, 将各试管快速摇匀后, 在沸水浴中准确保温1 min取出, 自然冷却后, 在630 nm波长下, 用空白调零测

光密度, 通过标准曲线计算出可溶性糖含量。每一处理重复3次。

3.3 全碳含量的测定

全碳含量的测定采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法(中国土壤学会农业专业委员会1983)。具体过程如下: 称取烘干磨碎0.02 g过0.25 mm筛的植物样品于大试管中, 准确加入10 mL的 $0.4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$ 溶液, 轻轻摇匀, 同时做空白实验。先将液体石蜡油浴锅加热至185~190℃, 将放有以上试管的铁丝笼放入油浴锅中加热, 放入后温度应降低至170~180℃, 待试管中液体开始沸腾产生气泡时开始计时, 缓缓煮沸5 min, 取出铁丝笼, 稍冷, 擦净试管外部油液。冷却后, 将试管内溶液全部洗入250 mL的三角瓶中, 然后加3~4滴邻啡罗啉指示剂, 此时溶液为橙黄色, 然后用 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标准硫酸亚铁(FeSO_4)溶液滴定, 溶液由橙黄色经过绿色、淡绿色突变为砖红色即为滴定终点。每一处理重复3次。

3.4 全氮的测定

全氮的测定采用凯氏定氮法(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)。具体过程如下: (1)消煮: 称取磨碎烘干并过0.25 mm筛的样品0.4 g (含C约15 mg以内)于消煮管中, 先用少许水湿润样品, 然后再加10 mL的浓 H_2SO_4 , 瓶口放一小漏斗, 轻轻摇匀, 先在消煮炉上用文火消煮, 待浓 H_2SO_4 分解大量冒白烟后再升温, 当消煮液呈均匀的棕黑色时取下。稍冷后加10滴 H_2O_2 ,

摇匀,再加热至微沸,消煮约5 min,取下,稍冷后加H₂O₂ 5~10滴,再消煮。如此重复3到5次,每次添加的H₂O₂逐次减少,消煮至溶液呈无色或清亮后,再加热5~10 min,以除尽剩余的H₂O₂。取下,冷却。用少许水冲洗漏斗,洗液全部流入开氏瓶。将消煮液无损地洗入100 mL容量瓶中,定容,摇匀,过滤或放置澄清后测定。(2)蒸馏:吸取待测液10 mL于凯氏管放入定氮蒸馏器中进行蒸馏,蒸馏5 min后停止蒸馏,取下用硫酸标准溶液滴定至紫红色。同时进行空白试验,以校正滴定和试剂引起的误差。每一处理重复3次。

3.5 精油成分测定

精油成分测定时,使用GC/MS联用仪[美国热电公司(Thermo Finnigan)生产,型号为Trace GC-2000/DSQ],在参考前人(Miraldi 1999; Mimica-Du-

kic等2003; 肖艳辉等2007)工作的基础上,并结合(美国)国家标准技术研究所(NIST) (2002)标准谱库进行鉴定,精油成分的相对含量采用面积归一法计算。每一处理重复3次。

4 数据分析

数据分析采用SPSS 18.0及Excel 2007完成,采用单因素方差分析法(One-Way ANOVA)分析不同处理显著性差异。

实验结果

1 不同氮素形态对比对精油含量的影响

由表2可以看出,不同氮素形态配比处理对薄荷精油含量的影响比较显著。干重精油含量在1.13~1.71 mL·100 g⁻¹ (DW)之间,从高到低的处理依次为T1>T2>T5>T4>T3,最低与最高精油含量相

表2 不同氮素形态对比对薄荷精油含量影响
Table 2 Effects of different nitrogen form on the peppermint essential oil content

配方	NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	干重精油含量/mL·100 g ⁻¹ (DW)	鲜重精油含量/mL·100 g ⁻¹ (FW)
T1	15:0	1.71±0.03 ^a	0.30±0.01 ^a
T2	12:3	1.69±0.17 ^a	0.28±0.03 ^a
T3	7.5:7.5	1.13±0.14 ^c	0.17±0.02 ^b
T4	3:12	1.19±0.03 ^c	0.20±0.01 ^b
T5	0:15	1.48±0.00 ^b	0.20±0.00 ^b

同列不同小写字母表示处理间在α=0.05水平上差异显著。表4同此。

差约1.51倍。其中, T1和T2之间、T3和T4之间差异不显著, T1和T2与T3和T4之间以及它们与T5之间达到了显著差异。

鲜重精油含量在0.17~0.30 mL·100 g⁻¹ (FW)之间,最低与最高精油含量相差约1.76倍。其中T1和T2之间, T3、T4和T5之间差异不显著。由表2可见,随着硝态氮含量降低和铵态氮含量增加精油含量逐渐降低然后增加,说明硝态氮和铵态氮的不同对比对薄荷精油含量有一定影响,其中T1>T2>T5>T4>T3,说明较高硝态氮和较高的铵态氮含量都有利于薄荷精油的形成,较高的硝态氮更有利于薄荷精油的形成,硝态氮和铵态氮为7.5:7.5处理下,精油含量最低。

2 不同氮素形态对比对薄荷精油成分的影响

对硝态氮和铵态氮不同配比处理的薄荷精油成分进行了定性和定量分析,共鉴定出26种成分。薄荷精油的GC-MS图谱见图1,各处理薄荷精油成

分相对含量根据峰面积归一法计算,结果见表3。硝态氮和铵态氮的不同对比对薄荷精油成分种类影响较小,不同处理的非共有成分有8种,分别为茨烯、罗勒烯、3-辛醇乙酸酯、榄香烯、异喇叭烯、5-甲基-2-(1-甲乙烯基)-4-己烯-1-醇、α-衣兰油烯和萜澄茄醇,而对薄荷精油成分的相对含量影响较大。薄荷精油的主要成分柠檬烯的相对含量在39.42%~44.15%之间,随着硝态氮含量降低和铵态氮含量增加,柠檬烯的含量逐渐增加;香芹酮的相对含量在36.91%~40.78%之间,随着硝态氮含量降低和铵态氮含量增加而逐渐减少。另外硝态氮和铵态氮不同对比对石竹烯的含量影响也比较大,随着硝态氮的比例逐渐增加,石竹烯含量逐渐增加,说明较高含量的硝态氮更有利于石竹烯的形成。

3 不同氮素形态对比对薄荷生理指标的影响

由表4可以看出,硝态氮和铵态氮不同浓度配比除对可溶性糖含量的影响不大外,其他各项生

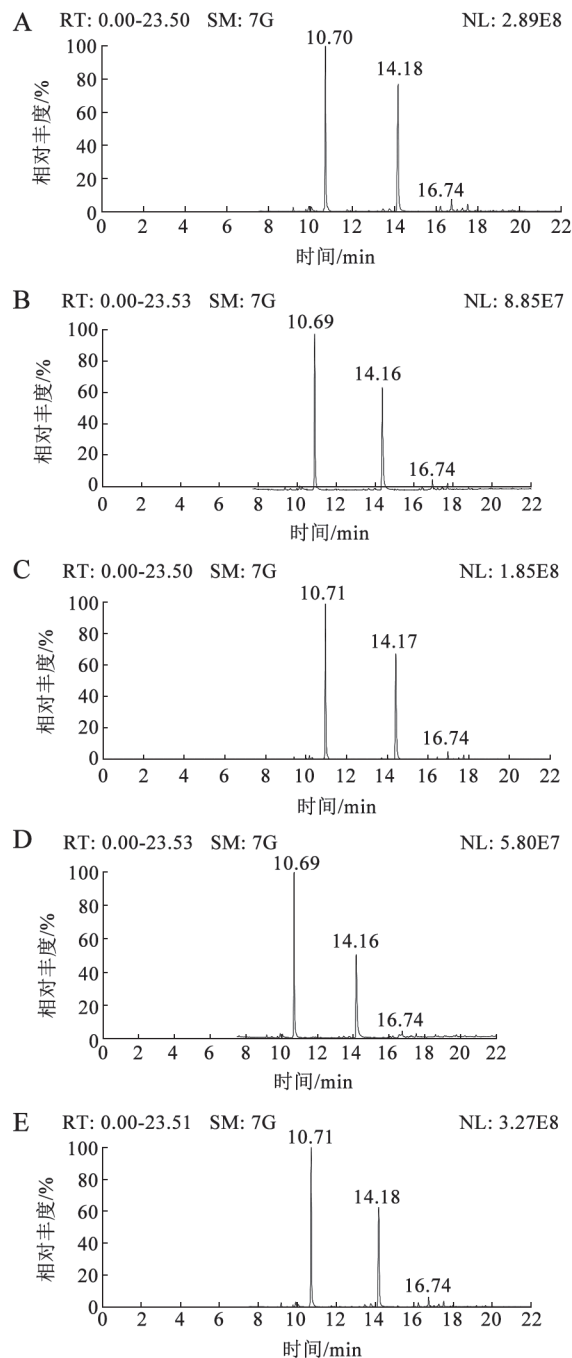


图1 不同氮素形态配比薄荷精油的GC-MS图谱
Fig.1 The GC-MS figures of peppermint essential oil under different nitrogen forms and ratio

RT: 保留时间; SM: 灵敏度; NL: 离子强度。A~E分别表示T1~T5的处理分析图谱。

理指标均有显著差异。全氮和蛋白质含量都随着硝态氮和铵态氮比例降低而增加,变化范围分别是1.16%~1.87%和7.22%~11.67%,各处理之间均达到了显著差异。

硝态氮和铵态氮不同浓度配比下的全碳含量在38.30%~39.15%之间,除T3处理含碳量最低,显著低于T5外,其他处理间差异不显著。碳氮比随着硝态氮与铵态氮比例降低逐渐降低,除T3和T4之间差异不显著外,其他各浓度之间达到了显著差异。

讨 论

Letchamo (1993)研究发现,不同氮的形态影响薄荷精油含量,硝态氮下精油产量比铵态氮高。本试验结果表明随着硝态氮和铵态氮的比例减少,精油含量呈下降趋势,其中 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 为15:0处理下的精油含量最高,说明硝态氮对精油含量的影响较大,生产上可以通过增加硝态氮的施用量来增加薄荷的精油产量,这与Letchamo (1993)的研究结果一致。薄荷精油是薄荷属植物的次生代谢产物,主要成分是单萜类化合物。单萜类是利用光合产物所形成的糖经过醋酸盐及一系列的反应形成的类萜,类萜多半是单贴和倍半萜。植物对 NO_3^- 和 NH_4^+ 的利用在吸收、储存、运输、同化过程上有很大差异,因此必然影响其生理生化过程,进而最终影响到作物的产量和品质(汪建飞2007)。营养液中氮形态不同,植株对氮的吸收量也不同,从而影响了植物体内有机化合物的合成方向,进而影响薄荷植物碳氮代谢及精油成分的形成和积累。史宏志等(1995)研究表明,碳氮代谢较为协调时烟叶中的精油含量最高,而氮素形态比严重影响着植物的碳氮代谢。

Baranauskiene (2003)报道施入不同氮肥的百里香精油个别成分有变化,特别是水溶性的化合物,如醛类和倍半萜类,说明不同氮肥对精油成分有一定影响。Atta-Aly (2001)指出复合N肥对甜茴香和球茎茴香膨大茎部的精油含量无明显影响,但却明显影响了精油的主要成分。进一步研究表明,除了对甜茴香施用硫酸铵和对球茎茴香施用尿素以外,其他复合性氮肥都使小茴香酮含量增加了。本实验结果表明随着硝态氮含量减少和铵态氮的含量增加,薄荷精油的主要成分柠檬烯的含量逐渐增加,香芹酮的含量逐渐减少。说明较高的硝态氮有利于香芹酮的形成,不利于柠檬烯的形成;较高的铵态氮有利于柠檬烯的形成,不利于香芹酮的形成。这与Baranauskiene (2003)的研

表3 不同氮素形态对比对薄荷精油成分相对含量的影响

Table 3 Effects of different nitrogen form on relative content of peppermint essential oil composition

序号	化合物名称	相对含量/%				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	α-蒎烯	0.82	0.69	0.76	0.52	0.89
2	茨烯	0.11	—	0.07	—	0.09
3	α-水芹烯	0.43	0.31	0.36	0.27	0.47
4	β-蒎烯	1.61	1.24	1.37	1.08	1.67
5	3-辛醇	1.50	1.11	1.06	1.53	0.96
6	香芹醇	0.06	0.03	0.06	0.02	0.06
7	柠檬烯	39.42	40.88	40.14	41.24	44.15
8	罗勒烯	0.01	0.19	0.06	—	0.01
9	顺α-松油烯	0.58	0.47	0.59	0.50	0.45
10	3-辛醇乙酸脂	0.15	—	0.26	—	0.14
11	反式-苧烯氧化物	0.13	0.10	0.11	0.12	0.13
12	5-甲基-2-(1-甲乙烯基)-4-己烯-1-醇	0.29	—	0.19	0.23	0.28
13	柠檬烯-1,2-环氧化物	0.89	0.72	1.03	0.88	1.06
14	顺-对-荷-2,8-二烯-1-醇	1.07	1.12	1.17	1.10	1.51
15	香芹酮	40.78	38.66	38.01	37.59	36.91
16	二氢香芹烯醇	0.09	0.12	0.14	0.16	0.30
17	榄香烯	—	—	0.03	0.03	0.02
18	波旁烯	1.33	0.88	1.00	0.71	1.15
19	石竹烯	3.15	2.99	2.92	2.58	2.89
20	可巴烯	0.43	0.37	0.40	0.23	0.35
21	萜澄茄油烯	1.93	1.25	1.76	0.85	1.65
22	异喇叭烯	0.21	—	0.20	—	0.17
23	α-衣兰油烯	0.11	0.30	0.09	—	—
24	萜澄茄油烯醇	0.23	0.19	0.31	0.27	0.18
25	胡萝卜次醇	0.39	0.50	0.61	0.56	0.38
26	萜澄茄醇	0.39	—	0.30	—	0.37
合计		96.11	92.12	93.00	90.47	96.24

“—”表示没有检测到。

表4 不同氮素形态对比对薄荷生理指标的影响

Table 4 Effects of different nitrogen form on the mint physiological indexes

配方	NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	全碳含量/%	可溶性糖含量/%	全氮含量/%	蛋白质含量/%	碳氮比
T1	15:0	38.55±0.15 ^{ab}	0.43±0.02 ^a	1.16±0.04 ^d	7.22±0.22 ^d	33.40±0.95 ^a
T2	12:3	38.50±0.71 ^{ab}	0.46±0.04 ^a	1.38±0.02 ^c	8.60±0.13 ^c	27.97±0.14 ^b
T3	7.5:7.5	38.30±0.09 ^b	0.46±0.06 ^a	1.63±0.02 ^b	10.21±0.13 ^b	23.45±0.27 ^c
T4	3:12	38.95±0.43 ^{ab}	0.45±0.03 ^a	1.65±0.00 ^b	10.28±0.00 ^b	23.68±0.26 ^c
T5	0:15	39.15±0.15 ^a	0.47±0.01 ^a	1.87±0.02 ^a	11.67±0.13 ^a	20.98±0.30 ^d

究结果一致, 都证明了氮素形态对精油的成分含量有一定影响, 从而影响精油的质量。原因可能是由于薄荷精油属于薄荷植物的次生代谢产物, 植物的次生代谢过程及其产物与环境有着密切的关系。不同氮素形态配比影响薄荷植物的碳氮代谢, 进而影响次生代谢产物。已有的关于植物次

生代谢产物与氮素营养关系的研究表明, 氮素营养的匮乏会导致萜类、酚类等不含氮次生代谢产物的积累, 反之, 则会促进含氮次生代谢产物如生物碱、氰苷等的合成(Gershenzon 1984; Coley等 2002)。因此, 作为在光合作用中起着不同作用的氮素形态及配比, 在芳香植物施肥过程中应予以考虑。

在本试验中发现营养液中单独供应铵态氮,薄荷植株较矮,根少而短,说明单独供应铵态氮会显著抑制作物的生长,这一结论与前人的结果完全一致(张春兰等1990;张富仓等2003)。另外不同氮素形态对比对薄荷的生理指标也有明显的影响,随着硝态氮比例减少,全碳、全氮、蛋白质都逐渐增加,碳氮比逐渐减小。原因是由于氮素是植物必须营养元素,严重影响着植物的碳氮代谢,不同的氮素营养对植物碳氮代谢产生差异与植物同化 NO_3^- 和 NH_4^+ 具有不同生理过程有关(Chandler和Dale 1993;肖凯等2000)。有研究显示:同一氮素浓度下的氮素配比中,铵态氮配比高的情况下,可溶性蛋白含量高(赵爽2007);随着氨态氮或胺态氮比例的提高,叶片中全氮逐渐增加(杨月英等2003)。植物全碳的变化,可能是由于不同形态的氮素对光合作用的不同影响而造成的(曹翠玲2002)。不同处理对薄荷可溶性糖影响差异不显著,说明不同氮素形态及对比对薄荷可溶性糖含量影响不大。

参考文献

- 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]
- Atta-Aly MA (2001). Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source of nitrogen fertilizer. *Sci Hortic*, 88: 191–202
- Barauskiene R (2003). New crops potential of queensland-grown geranium (*Pelargonium hybrid*) for essential oil. *Agric Food Chem*, 51 (26): 7751–7758
- Cao CL (2002). Effect of nitrogen and nitrogen form on physiological characteristics and yields of crop (PhD thesis). Yangling: Northwest A & F University (in Chinese with English abstract) [曹翠玲(2002). 氮素及形态对作物的生理效应(博士论文). 杨凌: 西北农林科技大学]
- Chandler JW, Dale JE (1993). Photosynthesis and nutrient supply in needles of Sitka spruce [*Picea stchensis* (Bong.) Carr.]. *New Phytol*, 125: 101–111
- Chinese Academy of Sciences, China Flora Editorial Board (1977). The Flora of China (Vol 66). Beijing: Science Press, 260–276 (in Chinese) [中国科学院中国植物志编辑委员会编(1977). 中国植物志(第66卷). 北京: 科学出版社, 260–276]
- Coley PD, Massa M, Lovelock CE, Winter K (2002). Effects of elevated CO_2 on foliar chemistry of saplings of nine species of tropical tree. *Oecologia*, 133: 62–69
- Gershenson J (1984). Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: Timmermann BN, Steelink C, Loewus FA (eds). Recent Advances in Phytochemistry. New York: Plenum Press, 273–320
- Huang W (2002). Mentha, perilla, coriander. *Food Life*, (5): 52–53 (in Chinese) [黄蔚(2002). 薄荷·紫苏·芫荽. 食品与生活, (5): 52–53]
- Letchamo W (1993). Nitrogen application affects yield and content of the active substances in camomile genotypes. In: Janick J, Simon JE (eds). New Crops. New York: Wiley, 636–639
- Li HS, Sun Q, Zhao SJ (2000). Experimental Theory and Technology of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 172–174 (in Chinese) [李合生, 孙群, 赵世杰(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]
- Lu Y (2007). Medicinal value and application of mentha. *Capital Med*, (16): 44 (in Chinese) [陆燕(2007). 薄荷的药用价值及应用. 首都医药, (16): 44]
- 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. *Phytother Res*, 17: 368–371
- Miralaldi E (1999). Comparison of the essential oils from ten *Foeniculum vulgare* Miller samples of fruits of different origin. *Flavour Frag J*, 14 (6): 379–382
- Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Society of Plant Physiology (1999). Modern Experiment Directory of Plant Physiology. Beijing: Science Press, 133–134 (in Chinese) [中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会(1999). 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 133–134]
- Shi HZ, Han JF, Wang YT, Liu QH (1995). Relationship between contents of essential oil components and flavor quality of tobacco leaf at different levels and sources of nitrogen. *Chin J Tobacco Sci*, (2): 1–5 (in Chinese with English abstract) [史宏志, 韩锦峰, 王彦亭, 刘清华(1995). 不同氮量和氮源下烤烟精油成分含量与香吃味的关系. 中国烟草科学, (2): 1–5]
- Tian XH, Li SX (2000). The relative absorption capacity of several vegetables to nitrate and ammonium nitrogen. *J Plant Nutr Ferti*, 6 (2): 194–201 (in Chinese with English abstract) [田霄鸿, 李生秀(2000). 几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力. 植物营养与肥料学报, 6 (2): 194–201]
- Wang JF (2007). Mechanisms and effects of $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ ratio in nutrient solution on growth and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.) (PhD thesis). Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese with English abstract) [汪建飞(2007). 营养液不同铵硝比对菠菜产量和品质影响的机理研究(博士论文). 南京: 南京农业大学]
- Wang XM, Li WL, Zhao ZQ, Liang CY (2007). Research advance on tissue culture of *Mentha* L. *Jiangsu Agric Sci*, (4): 117–121 (in Chinese) [王小敏, 李维林, 赵志强, 梁呈元(2007). 薄荷属植物的组织培养研究进展. 江苏农业科学, (4): 117–121]
- Xiao K, Zhang SH, Zou DH, Zhang RX (2000). The effects of different nitrogen nutrition forms on photosynthetic characteristics in wheat leaves. *J Crop Sci*, 26: 53–58 (in Chinese with English abstract) [肖凯, 张树华, 邹定辉, 张荣铤(2000). 不同形态氮素

- 营养对小麦光合特性的影响. 作物学报, 26: 53–58]
- Xiao YH, He JM, Wang YM (2007). Effect of light intensity on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Plant Physiol Commun, 43 (3): 551–555 (in Chinese with English abstract) [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]
- Yang YY, Zhang FM, Qiao XJ (2003). Effects of nitrogen forms on growth, yield and fruit quality of tomato in media culture. Acta Agric Boreall-Sin, 18 (1): 86–89 (in Chinese with English abstract) [杨月英, 张福墁, 乔晓军(2003). 不同形态氮素对基质培番茄生育、产量及品质的影响. 华北农学报, 18 (1): 86–89]
- Zhang CL, Gao MZ, Zhang YD, Tang WM (1990). The effects of different nitrogen forms and their concentration combinations on the growth and quality of spinach. J Nanjing Agric Univ, 13 (3): 70–74 (in Chinese with English abstract) [张春兰, 高明祖, 张耀栋, 唐为民(1990). NO_3^- -N与 NH_4^+ -N对比对菠菜生长和品质的影响. 南京农业大学学报, 13 (3): 70–74]
- Zhang FC, Kang SZ, Li ZJ (2003). Effect of nitrogen forms on nitrate accumulation and nutrient absorption in cabbage. Acta Horti Sin, 30 (1): 93–94 (in Chinese with English abstract) [张富仓, 康绍忠, 李志军(2003). 氮素形态对白菜硝酸盐累积和养分吸收的影响. 园艺学报, 30 (1): 93–94]
- Zhang JT (2007). The view and food combined medicine and a variety of utility of new fragrance plant: Monarda diyma. Jilin Veg J, (2): 63 (in Chinese) [张吉通(2007). 观食兼用医药和多种用途的新型香味植物: 美国大花薄荷. 吉林蔬菜, (2): 63]
- Zhao S (2007). Studies on the effect of nitrogen forms and nitrogen proportion on growth and development of Blueberry (Master's thesis). Changchun: Jinlin Agricultural University (in Chinese with English abstract) [赵爽(2007). 氮素形态及氮素配比对越橘生长发育影响的研究(硕士论文). 长春: 吉林农业大学]

Effects of different nitrogen forms and ratio on the content and the quality of peppermint essential oil

LI Juan-Juan¹, WANG Yu-Mei^{2*}, PAN Chun-Xiang², XIAO Yan-Hui², HE Jin-Ming²

¹Animal Husbandry and Veterinary Station of Lintong District, Xi'an City, Xi'an 710000, China; ²College of Yingdong Bioengineering, Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong 512005, China

Abstract: The experiment imitate cultivated by deep flow technique to study the effects of nitrate and ammonium nitrogen different proportions of peppermint essential oil content and quality. The results showed that different nitrogen forms have little effect on essential oils of peppermint, but with the proportion of nitrate and ammonium nitrogen declined, the content of essential oil decreased and then increased, the highest content of essential oil under the T1 treatment, essential oil content of T3 treatment was minimum; the relative content of limonene oil components gradually increased, between 39.42%–44.15%; the relative content of carvone decreased gradually, between 36.91%–40.78%; total nitrogen and protein increased, the ratio of carbon and nitrogen decreased. So, the production can be increased by increasing the amount of nitrate nitrogen application to increase the content of the peppermint essential oil, applying fertilizer to regulate the relative content of essential oils to the composition and physiological characteristics.

Key words: peppermint; essential oil; nitrogen form; composition; quality

Received 2015-09-15 Accepted 2016-01-13

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 30370151).

*Corresponding author (E-mail: wym990@vip.sina.com).