

不同施肥配比对麦冬幼苗光合特性及干物质分配的影响

邱佳妹¹, 王康才^{1,①}, 朱光明², 段云晶¹, 余史丹¹

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 上海华宇药业有限公司, 上海 200002)

摘要: 运用 $L_9(3^3)$ 正交实验设计, 采用盆栽法研究了不同浓度 N(15、30 和 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、P(1、3 和 5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 和 K(6、12 和 24 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 配施对麦冬 [*Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl.] 幼苗光合特性和干物质分配的影响。结果表明: N 肥对麦冬幼苗叶片光合特性的影响最大, 其中对叶绿素 a 含量、净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率的影响均达到显著水平, 以 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ N 的促进作用最为明显; P 肥对麦冬幼苗叶片光合参数均无显著影响; K 肥仅对麦冬幼苗叶片类胡萝卜素含量有显著影响, 以 12 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K 处理组类胡萝卜素含量为最高。N 肥对麦冬幼苗地上部分和地下部分含水量的影响较大, K 肥对二者的影响次之, P 肥的影响较小。N 肥对麦冬幼苗地上部分和地下部分干物质分配指数以及根冠比的影响较大, P 肥和 K 肥的影响较小。综合分析结果表明: 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ N、1 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ P 和 12 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K 配施条件下麦冬幼苗叶片光合色素含量和植株含水量均较高, 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ N、3 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ P 和 6 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K 配施条件下麦冬幼苗叶片光合参数较高, 30 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ N、5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ P 和 6 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K 配施条件下麦冬幼苗地下部分干物质分配比例较高。在麦冬的不同种植阶段可据此合理配施肥料以达到增加产量和提高品质的目的。

关键词: 麦冬; $L_9(3^3)$ 正交实验设计; 施肥; 光合色素含量; 光合参数; 干物质分配

中图分类号: S567.23⁺2; R282.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)02-0061-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.02.09

Effects of different fertilizing proportion on photosynthetic characteristics and dry matter allocation of *Ophiopogon japonicus* QIU Jiamei¹, WANG Kangcai^{1,①}, ZHU Guangming², DUAN Yunjing¹, YU Shidan¹ (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Shanghai Hua Yu Chinese Herbs Co., Ltd., Shanghai 200002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(2): 61-66, 111

Abstract: Using $L_9(3^3)$ orthogonal experiment design, effects of combined application of N (15, 30 and 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), P (1, 3 and 5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) and K (6, 12 and 24 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) on photosynthetic characteristics and dry matter allocation of *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl. seedling were researched by pot method. The results show that effect of N fertilizer on photosynthetic characteristics of leaf of *O. japonicus* seedling is the most, in which its effect on chlorophyll a content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration, transpiration rate is significant as the most obvious promotion of 45 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ N. Effect of P fertilizer on photosynthetic parameter of leaf is not significant. While that of K fertilizer on carotenoid content is significant with the highest carotenoid content in 12 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K treatment group. Effect of N fertilizer on water content in above- and underground parts of *O. japonicus* seedling is bigger, that of P fertilizer on them is in the second, and that of K fertilizer on them is smaller. Effect of N fertilizer on dry matter allocation index of above- and underground parts and root/shoot ratio is bigger, while effects of P and K fertilizers are smaller. The comprehensive analysis result shows that photosynthetic pigment content in leaf and water content in plant

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 江苏省镇江市农业重点项目(R0201100292)

作者简介: 邱佳妹(1989—),女,浙江湖州人,硕士研究生,主要从事药用植物栽培与生理研究。

①通信作者 E-mail: wangkc@njau.edu.cn

of *O. japonicus* seedling are higher in combined application condition of 45 mmol · L⁻¹ N, 1 mmol · L⁻¹ P and 12 mmol · L⁻¹ K, photosynthetic parameters in leaf are higher in combined application condition of 45 mmol · L⁻¹ N, 3 mmol · L⁻¹ P and 6 mmol · L⁻¹ K, and dry matter allocation ratio of under-ground part is higher in combined application condition of 30 mmol · L⁻¹ N, 5 mmol · L⁻¹ P and 6 mmol · L⁻¹ K. Based on them, rational combined application of fertilizer at different planting stages of *O. japonicus* can achieve in order to the purpose of increasing production and improving quality.

Key words: *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl.; L₉(3³) orthogonal experiment design; fertilization; photosynthetic pigment content; photosynthetic parameter; dry matter allocation

麦冬 [*Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl.] 为百合科 (Liliaceae) 沿阶草属 (*Ophiopogon* Ker-Gawl.) 多年生常绿草本植物, 又名沿阶草、书带草或麦门冬, 在中国大部分地区均有野生麦冬分布。麦冬为传统大宗中药材之一, 其块根具有养阴生津、润肺清心等功效^[1]; 该种还是园林绿化中常用的地被观赏植物。合理增施肥料是提高药用植物产量的有效措施之一, 其中 N、P、K 对药用植物的生长发育、产量和品质有直接影响^[2-4], 因而, 在传统药用麦冬产区的浙江、江苏和四川等地, 药农也将施肥作为麦冬增产的主要措施之一, 但过量施肥和盲目施肥现象较为普遍。

植物的光合作用与植物的能量吸收固定、物质分配转化和糖类循环等代谢过程密切相关, 是植物体内物质代谢和能量代谢的基础, 与植物的产量和品质也密切相关^[5-6]。植株干物质生产量及其在各器官的分配比例反映了植物对养分的有效吸收状况, 是作物产量的关键制约因素之一。为此, 作者运用 L₉(3³) 正交实验设计, 采用盆栽法初步探讨了不同 N、P 和 K 配施方案对麦冬幼苗光合作用、叶片含水量和干物质分配的调控效应, 了解不同施肥条件下麦冬幼苗光合作用和干物质积累分配特征, 掌握麦冬对养分环境的适应机制和生态分布规律, 以期为指导麦冬合理施肥提供基础实验依据, 从而达到提高麦冬块根产量与品质的目的。

1 材料和方法

1.1 材料

供试 2 年生麦冬种苗引自四川省绵阳市三台县, 2013 年 3 月份栽培于口径 29 cm、高度 26 cm 的塑胶盆中, 栽培基质为蛭石和珍珠岩 (体积比 5:1) 混合基质, 每盆种植 10 株种苗, 栽种深度 5 cm。置于南京农业大学园艺学院日光温室内培养, 生长期间每隔 10 d 浇 500 mL 改良 Hoagland 基本营养液 (pH 6.0), 其中

大量元素采用 Hoagland 营养液配方、微量元素采用阿农营养液配方^[7], 所用试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 正交实验设计及处理 按 L₉(3³) 正交实验设计 N、P、K 3 因素 3 水平处理, 各处理组的 N、P 和 K 终浓度见表 1。在改良的 Hoagland 营养液中分别添加 0、15 和 30 mmol · L⁻¹ N, 0、2 和 4 mmol · L⁻¹ P 和 0、6 和 18 mmol · L⁻¹ K, 使培养液中 N、P 和 K 浓度达到实验设置的终浓度; N、P 和 K 分别由 NH₄NO₃、NaH₂PO₄ 和 K₂SO₄ 提供。于 2013 年 8 月份麦冬幼苗恢复生长后开始施肥, 每个处理组 10 盆, 共处理 8 次, 每隔 10 d 施用 500 mL。10 月下旬开始测定各项指标。

表 1 麦冬 N、P 和 K 配施的正交实验设计
Table 1 Orthogonal experiment design on combined application of N, P and K to *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl.

处理 Treatment	因素及水平 ¹⁾ Factor and level ¹⁾		
	N	P	K
T1 (N ₁ P ₁ K ₁ , CK)	15	1	6
T2 (N ₁ P ₂ K ₂)	15	3	12
T3 (N ₁ P ₃ K ₃)	15	5	24
T4 (N ₂ P ₁ K ₂)	30	1	12
T5 (N ₂ P ₂ K ₃)	30	3	24
T6 (N ₂ P ₃ K ₁)	30	5	6
T7 (N ₃ P ₁ K ₃)	45	1	24
T8 (N ₃ P ₂ K ₁)	45	3	6
T9 (N ₃ P ₃ K ₂)	45	5	12

¹⁾ N: 营养液中 N 的终浓度 Final concentration of N in nutrient solution (mmol · L⁻¹); P: 营养液中 P 的终浓度 Final concentration of P in nutrient solution (mmol · L⁻¹); K: 营养液中 K 的终浓度 Final concentration of K in nutrient solution (mmol · L⁻¹).

1.2.2 光合色素含量测定 于 10 月 26 日, 各处理组分别选择生长良好、株高基本一致的健康植株 3 株, 每株选择由内向外第 2 位至第 4 位大小基本一致、长势旺盛的小叶, 剪取叶片中段, 参照李合生^[7]的方法测定叶绿素含量和类胡萝卜素含量。

1.2.3 光合参数测定 于麦冬生长旺盛期(10月24日至10月26日)的9:00至11:00,在自然条件下用LI-6400便携式光合仪(美国LI-COR公司)进行光合参数测定,净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度等参数由仪器直接读取。选择开放式气路,红蓝光源,叶室光合有效辐射800 μmol·m⁻²·s⁻¹,样品室内气流速率500 μmol·s⁻¹,参比室CO₂浓度380~410 μmol·mol⁻¹,叶片温度30℃~32℃,样品室空气相对湿度25%~40%。测定时各处理组分别选择生长良好、大小基本一致的健康植株3株,每株选择由内向外第2位至第4位大小基本一致、长势旺盛的小叶,测定部位为叶片中部。每次测定均选取固定标记的叶片,每次设3个重复,每个重复记录5组观测值,各指标的最终测定值以平均值计。

1.2.4 干质量测定 于麦冬生长旺盛期的晴天(10月26日)采样,每处理随机选取麦冬幼苗5株,挖出完整植株,并尽量不遗漏基质中的根系;用自来水冲洗干净后吸干水分,将每株的地上部分和地下部分分开,分别称其鲜质量;然后置于105℃条件下杀青20 min,于65℃恒温干燥至恒质量,分别记录干质量。分别计算干物质分配指数和根冠比,干物质分配指数为植株地上部分干质量(或地下部分干质量)与植株总干质量的比值;根冠比为植株的地下部分干质量与地上部分干质量的比值。

1.3 数据处理

采用EXCEL 2003和SPSS 13.0统计分析软件对实验数据进行统计和分析;采用Duncan法进行差异显著性分析,采用极差分析法(R法)对正交试验结果进行极差分析。

2 结果和分析

2.1 对麦冬幼苗叶片中光合色素含量的影响

不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗叶片中光合色素含量的影响见表2。由表2可以看出:不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗叶片中叶绿素a含量的影响最大,其中T9(45 mmol·L⁻¹N、5 mmol·L⁻¹P和12 mmol·L⁻¹K)处理组叶绿素a含量最高,较T1处理组(对照,15 mmol·L⁻¹N、1 mmol·L⁻¹P和6 mmol·L⁻¹K)提高了19.87%,差异达显著水平;不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗叶片中叶绿素b含量的影响较小,仅T9处理组与对照组差异显著;不同浓度N、P和

表2 不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗叶片中光合色素含量的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 2 Effect of combined application of N, P and K with different concentrations on photosynthetic pigment content in leaf of *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl. seedling ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	叶绿素含量/mg·g ⁻¹ Chlorophyll content		类胡萝卜素 含量/mg·g ⁻¹ Carotenoid content
	Chla	Chlb	
T1(N ₁ P ₁ K ₁ ,CK)	1.56±0.04ef	0.68±0.03bc	0.25±0.01cd
T2(N ₁ P ₂ K ₂)	1.64±0.01d	0.68±0.03bc	0.29±0.01b
T3(N ₁ P ₃ K ₃)	1.53±0.01f	0.62±0.01c	0.26±0.01bc
T4(N ₂ P ₁ K ₂)	1.61±0.01de	0.67±0.01bc	0.32±0.01a
T5(N ₂ P ₂ K ₃)	1.71±0.01c	0.71±0.01b	0.29±0.01b
T6(N ₂ P ₃ K ₁)	1.73±0.01bc	0.73±0.04ab	0.28±0.01b
T7(N ₃ P ₁ K ₃)	1.70±0.01c	0.72±0.03ab	0.26±0.00bc
T8(N ₃ P ₂ K ₁)	1.77±0.02b	0.73±0.01ab	0.24±0.02d
T9(N ₃ P ₃ K ₂)	1.87±0.05a	0.78±0.01a	0.25±0.01cd
K _{N₁}	1.58	0.66	0.27
K _{N₂}	1.68	0.70	0.30
K _{N₃}	1.78	0.74	0.25
R	0.20	0.08	0.05
K _{P₁}	1.62	0.69	0.28
K _{P₂}	1.71	0.70	0.27
K _{P₃}	1.71	0.71	0.26
R	0.09	0.02	0.02
K _{K₁}	1.69	0.71	0.26
K _{K₂}	1.71	0.71	0.29
K _{K₃}	1.65	0.68	0.27
R	0.06	0.03	0.02

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ N₁, N₂, N₃: 营养液中N的终浓度分别为15、30和45 mmol·L⁻¹ Final concentration of N in nutrient solution is 15, 30 and 45 mmol·L⁻¹, respectively; P₁, P₂, P₃: 营养液中P的终浓度分别为1、3和5 mmol·L⁻¹ Final concentration of P in nutrient solution is 1, 3 and 5 mmol·L⁻¹, respectively; K₁, K₂, K₃: 营养液中K的终浓度分别为6、12和24 mmol·L⁻¹ Final concentration of K in nutrient solution is 6, 12 and 24 mmol·L⁻¹, respectively.

K配施对麦冬幼苗叶片中类胡萝卜素含量的影响最小,其中T4(30 mmol·L⁻¹N、1 mmol·L⁻¹P和12 mmol·L⁻¹K)处理组的类胡萝卜素含量最高,与其他处理组间存在显著差异。

由表2还可见:N肥对叶片中叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量的影响均较大,是最主要的影响因素,其中45 mmol·L⁻¹N对叶片中光合色素含量提高的促进作用最明显;K肥仅对叶片中类胡萝卜素含量有显著影响,其中12 mmol·L⁻¹K的影响最大。

2.2 对麦冬幼苗叶片光合参数的影响

不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗叶片光合参数的影响见表3。由表3可知:T8(45 mmol·L⁻¹N、

3 mmol · L⁻¹P 和 6 mmol · L⁻¹K) 和 T9 处理组的净光合速率 (Pn) 和蒸腾速率 (Tr) 均较高, 显著高于其他处理组; 而 T1 (对照) 和 T3 (15 mmol · L⁻¹N、5 mmol · L⁻¹P 和 24 mmol · L⁻¹K) 处理组的 Pn 和 Tr 值则均较低。T8 处理组的气孔导度 (Gs) 最高, 显著高于其他处理组; 而 T3 处理组的 Gs 则最低, 显著低

于其他处理组。T2 (15 mmol · L⁻¹N、3 mmol · L⁻¹P 和 12 mmol · L⁻¹K)、T5 (30 mmol · L⁻¹N、3 mmol · L⁻¹P 和 24 mmol · L⁻¹K) 和 T6 (30 mmol · L⁻¹N、5 mmol · L⁻¹P 和 6 mmol · L⁻¹K) 处理组的胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 较高, 显著高于其他处理组。

表3 不同浓度 N、P 和 K 配施对麦冬幼苗叶片光合参数的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 3 Effect of combined application of N, P and K with different concentrations on photosynthetic parameter in leaf of *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl. seedling ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	净光合速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Net photosynthetic rate	气孔导度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Stomatal conductance	胞间 CO ₂ 浓度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ Intercellular CO ₂ concentration	蒸腾速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Transpiration rate
T1 (N ₁ P ₁ K ₁ , CK)	5.97±0.34de	0.056±0.005d	237.20±6.20b	0.730±0.027e
T2 (N ₁ P ₂ K ₂)	5.24±0.09f	0.058±0.002d	259.30±7.70a	0.824±0.019d
T3 (N ₁ P ₃ K ₃)	5.81±0.24e	0.050±0.004e	217.00±2.00d	0.697±0.011e
T4 (N ₂ P ₁ K ₂)	6.34±0.21d	0.060±0.002d	238.70±1.30b	0.801±0.008d
T5 (N ₂ P ₂ K ₃)	6.83±0.14c	0.071±0.003b	254.50±5.50a	0.924±0.008c
T6 (N ₂ P ₃ K ₁)	6.94±0.19c	0.073±0.001b	253.40±4.60a	0.995±0.024b
T7 (N ₃ P ₁ K ₃)	7.52±0.24b	0.065±0.001c	214.75±2.25d	0.883±0.037c
T8 (N ₃ P ₂ K ₁)	8.45±0.28a	0.079±0.001a	226.33±5.35c	1.110±0.011a
T9 (N ₃ P ₃ K ₂)	8.71±0.13a	0.074±0.001b	211.00±1.00d	1.075±0.007a
K _{N₁}	5.67	0.055	237.83	0.750
K _{N₂}	6.70	0.068	248.87	0.907
K _{N₃}	8.23	0.073	217.36	1.023
R	2.55	0.010	31.51	0.273
K _{P₁}	6.61	0.060	230.22	0.805
K _{P₂}	6.84	0.069	246.71	0.953
K _{P₃}	7.15	0.066	227.13	0.922
R	0.54	0.009	19.58	0.148
K _{K₁}	7.12	0.069	238.98	0.945
K _{K₂}	6.76	0.064	236.33	0.900
K _{K₃}	6.72	0.062	228.75	0.835
R	0.40	0.007	10.23	0.110

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ N₁, N₂, N₃: 营养液中 N 的终浓度分别为 15、30 和 45 mmol · L⁻¹ Final concentration of N in nutrient solution is 15, 30 and 45 mmol · L⁻¹, respectively; P₁, P₂, P₃: 营养液中 P 的终浓度分别为 1、3 和 5 mmol · L⁻¹ Final concentration of P in nutrient solution is 1, 3 and 5 mmol · L⁻¹, respectively; K₁, K₂, K₃: 营养液中 K 的终浓度分别为 6、12 和 24 mmol · L⁻¹ Final concentration of K in nutrient solution is 6, 12 and 24 mmol · L⁻¹, respectively.

极差分析结果显示: 对麦冬幼苗叶片 Pn、Gs、Ci 和 Tr 影响最大的是 N 浓度, 影响最小的是 K 浓度。方差分析结果表明: N 施用水平对麦冬幼苗叶片 Pn、Gs、Ci 和 Tr 均有显著影响; 其中, 在 45 mmol · L⁻¹N 水平下其 Pn、Gs 和 Tr 均最大。施用不同浓度 P 和 K 对叶片的 Pn、Gs、Ci 和 Tr 均无显著影响。说明增施 N 肥有利于促进麦冬幼苗的光合作用。

2.3 对麦冬幼苗含水量和干物质分配的影响

不同浓度 N、P 和 K 配施对麦冬幼苗含水量及干物质分配的影响见表 4。

2.3.1 对幼苗含水量的影响 由表 4 的结果可以看出: 9 个处理中, T7 (45 mmol · L⁻¹N、1 mmol · L⁻¹P 和 24 mmol · L⁻¹K) 处理组的地上部分含水量最高, 达到 76.12%; T1 处理组 (对照) 的地上部分含水量最低, 为 73.09%, 二者存在显著差异。T4 和 T8 处理组的地下部分含水量较高, T1 处理组的地下部分含水量最低, 二者也有显著差异。极差分析结果显示: N 肥对麦冬幼苗地上部分和地下部分含水量的影响较大, K 肥对二者的影响次之, P 肥的影响较小。

2.3.2 对干物质分配的影响 由表 4 可见: 9 个处

理中,T6处理组的地上部分干物质分配指数最大、地下部分干物质分配指数最小,其根冠比也最小;T1处理组(对照)的地上部分干物质分配指数最小、地下部分干物质分配指数最大,其根冠比则最大。T6和T1处理组的地上部分和地下部分干物质分配以及根冠

比均有差异显著。极差分析结果显示:N肥对麦冬幼苗地上部分和地下部分干物质分配指数以及根冠比的影响较大,P肥和K肥的影响较小,但均未达到显著水平。

表4 不同浓度N、P和K配施对麦冬幼苗含水量及干物质分配的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Effect of combined application of N, P and K with different concentrations on water content and dry matter allocation of *Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl. seedling ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	含水量/% Water content		干物质分配指数 Dry matter allocation index		根冠比 Root/shoot ratio
	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	
T1 (N ₁ P ₁ K ₁ ,CK)	73.09±0.55d	80.66±0.32d	0.563±0.015c	0.437±0.015a	0.776±0.038a
T2 (N ₁ P ₂ K ₂)	74.15±0.57bcd	81.50±0.41cd	0.580±0.034bc	0.420±0.034ab	0.729±0.085ab
T3 (N ₁ P ₃ K ₃)	74.26±0.53bcd	81.29±0.57d	0.566±0.035bc	0.434±0.035ab	0.770±0.086a
T4 (N ₂ P ₁ K ₂)	73.86±1.14bcd	83.54±0.39a	0.577±0.019bc	0.423±0.019ab	0.735±0.047ab
T5 (N ₂ P ₂ K ₃)	74.27±1.14bcd	81.33±0.59d	0.621±0.018abc	0.379±0.018abc	0.610±0.037cd
T6 (N ₂ P ₃ K ₁)	73.30±0.16cd	81.76±1.60bcd	0.644±0.047a	0.356±0.047c	0.560±0.096d
T7 (N ₃ P ₁ K ₃)	76.12±1.13a	82.93±0.38ab	0.626±0.020ab	0.374±0.020bc	0.597±0.041cd
T8 (N ₃ P ₂ K ₁)	75.10±0.89ab	83.69±0.83a	0.598±0.040abc	0.402±0.040abc	0.676±0.093abc
T9 (N ₃ P ₃ K ₂)	74.77±0.49abc	82.64±0.04abc	0.609±0.023abc	0.391±0.023abc	0.645±0.051bcd
K _{N₁}	73.83	81.15	0.570	0.430	0.758
K _{N₂}	73.83	82.21	0.614	0.386	0.635
K _{N₃}	75.33	83.09	0.611	0.389	0.639
R	1.50	1.94	0.044	0.044	0.123
K _{P₁}	74.36	82.38	0.598	0.411	0.703
K _{P₂}	74.51	82.17	0.600	0.400	0.672
K _{P₃}	74.13	81.90	0.606	0.393	0.658
R	0.38	0.48	0.008	0.018	0.045
K _{K₁}	73.85	82.04	0.602	0.398	0.671
K _{K₂}	74.26	82.56	0.589	0.411	0.703
K _{K₃}	74.88	81.85	0.604	0.396	0.659
R	1.03	0.71	0.015	0.015	0.044

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ N₁,N₂,N₃: 营养液中N的终浓度分别为15,30和45 mmol·L⁻¹ Final concentration of N in nutrient solution is 15, 30 and 45 mmol·L⁻¹, respectively; P₁,P₂,P₃: 营养液中P的终浓度分别为1,3和5 mmol·L⁻¹ Final concentration of P in nutrient solution is 1, 3 and 5 mmol·L⁻¹, respectively; K₁,K₂,K₃: 营养液中K的终浓度分别为6,12和24 mmol·L⁻¹ Final concentration of K in nutrient solution is 6, 12 and 24 mmol·L⁻¹, respectively.

3 讨论和结论

3.1 N、P和K配施对麦冬幼苗叶片光合特性影响

光合作用产物是植物初级代谢和次级代谢的前体,光合作用的强弱直接影响植株产量和品质。适宜的N、P和K配施有利于药用植物光合色素的合成,增强其光合作用能力,从而提高药用部位的产量与品质^[8-9]。本研究结果表明:N、P和K配施对麦冬幼苗叶片光合特性影响较大,其中N肥是影响叶片光合色

素含量和光合参数的主要因素。随着N施用量的增加,麦冬幼苗叶片光合速率增大且差异达显著水平,可能是因为随N肥浓度提高叶片中叶绿素含量增加,从而使植株的光合能力增强。且随着N施用量的增加,麦冬幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均明显增大,而胞间CO₂浓度却显著降低,说明其光合速率受非气孔限制因素影响。

在P施用量为1~5 mmol·L⁻¹的条件下,P肥对麦冬幼苗叶片的光合色素含量和光合参数均无显著影响,与曾琳等^[10]的研究结果一致。推测其原因有

二:一是可能与麦冬各生育期对 N 和 K 的需求较高、对 P 的需求较低有关^[11-12];二是可能由于本实验设置的营养液中 P 终浓度过低,对麦冬幼苗叶片光合特性的影响不明显。

童贯和^[13]及林多等^[14]的研究结果表明:适当增施 K 肥能提高植株叶片的气孔导度,从而提高叶肉细胞的光合活性、减轻气孔和非气孔因素对光合作用的限制、提高净光合速率、增强光合能力。本研究认为:适宜浓度的 K 肥能提高麦冬幼苗叶片的光合色素含量,但 K 施用量超过一定浓度后叶片的光合色素含量呈降低趋势;而 K 施用量对麦冬幼苗叶片的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率等光合参数则无显著影响。K 施用量对麦冬幼苗叶片中的类胡萝卜素含量有显著影响,并在 K 终浓度 12 mmol · L⁻¹ 条件下叶片中类胡萝卜素含量达到最高。类胡萝卜素是活性氧的有效猝灭剂,与麦冬光保护机制中的过剩光能耗散有关^[15],表明适宜浓度的 K 肥能使麦冬抵御光破坏的能力增强,为麦冬的旺盛生长创造了条件。

3.2 N、P 和 K 配施对麦冬干物质分配的影响

Gleeson 等^[16]认为:除植物根部受到伤害的情况外,根冠比增加通常表明植物是在逆境下生长,而根冠比降低则是植物对较适宜的外界生长环境的响应,包括合理施肥和灌溉、中耕除草、适宜的气候及病虫害控制等。孙群等^[17]认为:植物的含水量能够反映植物体内的水分状况,含水量的高低在一定程度上可反映植株保水能力的强弱。本研究中,各施肥处理组麦冬幼苗根冠比均小于对照,而其地上部分和地下部分的含水量均较对照有所提高。这可能是由于施肥后养分供应充足,麦冬生长不受养分的胁迫,但受其他限制因素(如光照)的制约,需通过增加光合产物向地上部分的分配增强对光的吸收,减轻麦冬受弱光的影响以促进光合作用;同时施肥可增加原生质的水合程度^[18],增强细胞的保水能力,提升麦冬的生长速率。

干物质积累是产量形成的物质基础,干物质在各器官的合理分配是产量形成的关键;干物质分配指数也是植物对环境胁迫功能响应的重要敏感指标之一,地下部分和地上部分干物质质量的大小在一定程度上反映了植株对土壤养分或光照的需求和竞争能力^[19]。当发生养分胁迫时,由于较大的吸收部位(地

下根系)能为植物的蒸腾和呼吸供应更多的水分和养分,因而,相比地上部分,更多的干物质被分配到地下部分并使植物维持较高的根冠比^[20]。文便便等^[21]和陈兴福等^[22]的研究结果表明:麦冬叶片是光合积累产物和次生代谢产物形成的重要场所,因此培育具有优异叶片光合生态构型的麦冬株型是其优质高产的关键,而麦冬地下部分块根生长量与地上部分茎叶生长量呈极显著正相关。本研究中,N、P 和 K 的不同配比均导致麦冬幼苗地上部分和地下部分干物质分配格局的变化。低营养水平下,更多的干物质被分配至麦冬的地下部分(养分吸收器官),以增加对养分的吸收,减少营养缺失对麦冬幼苗生长的限制;高养分水平下,养分不是麦冬生长的限制因子,更多的干物质被投入到碳同化器官(叶片)中。因此,若以麦冬块根为收获目的,则施肥水平及麦冬块根产量与干物质分配指数及根冠比的相关性还需进一步研究。

综合考虑本研究结果及生产中肥料的施用效益,可以认为:N₃P₁K₂(45 mmol · L⁻¹N、1 mmol · L⁻¹P 和 12 mmol · L⁻¹K)配施条件下麦冬幼苗叶片的光合色素含量和植株含水量较高;N₃P₂K₁(45 mmol · L⁻¹N、3 mmol · L⁻¹P 和 6 mmol · L⁻¹K)配施条件下麦冬幼苗叶片的光合参数较高;N₂P₃K₁(30 mmol · L⁻¹N、5 mmol · L⁻¹P 和 6 mmol · L⁻¹K)配施条件下麦冬幼苗地下部分的干物质分配比例较高。因而,在麦冬种植的不同阶段合理配施 N、P 和 K 能有效提高其光合能力和植株含水量,改善植株的干物质分配格局,有利于麦冬药材产量和品质的提高。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010 年版(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 144-145.
- [2] 张燕, 刘勇, 王文全, 等. 氮磷钾肥对黄芩产量及黄芩苷含量的影响[J]. 中药材, 2007, 30(4): 386-388.
- [3] 刘金亮. 氮磷钾肥配施对川芎生长、产量和药效成分含量的影响 [D]. 雅安: 四川农业大学农学院, 2011: 1-53.
- [4] 王康才, 唐晓清, 吴健, 等. 配方施肥对板蓝根产量和多糖含量的影响[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(24): 2588-2591.
- [5] 程建峰, 沈允钢. 试析光合作用的研究动向[J]. 植物学报, 2011, 46(6): 694-704.
- [6] XU D Q. Progress in photosynthesis research: from molecular mechanisms to green revolution[J]. 植物生理学报, 2001, 27(2): 97-108.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134.