

网络出版时间:2016-07-12 08:45

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.08.028

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160712.0845.056.html>

钾浓度对水培生菜生长及矿质元素动态吸收的影响

苏苑君, 胡笑涛, 王文娥, 杨鑫, 李兴杰

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究不同浓度钾对水培生菜生长、品质、矿质元素利用效率以及矿质元素动态吸收的影响, 以期筛选出适宜生菜生长的钾浓度。【方法】2014年3—5月, 采用水培试验, 设置5个不同的钾浓度(6, 5, 4, 3, 2 mmol/L)处理生菜, 在生菜生育期每隔10 d测定1次生长指标, 在收获后测定生菜品质, 并计算生菜对不同矿质元素的利用效率, 同时测定营养液中氮、磷、钾、钙、镁的浓度变化, 以分析各阶段生菜对矿质元素的吸收情况。【结果】当钾浓度为2~6 mmol/L时, 生菜叶面积、根干(鲜)质量、地上部分干(鲜)质量、根冠比均随钾浓度的增加先增大后减小, 当钾浓度为3 mmol/L时, 生菜以上生长指标均较大; 随着钾浓度的增加, 生菜硝酸盐、可溶性糖、可溶性蛋白含量均先增大后减小, Vc含量不断增大, 其中当钾浓度为4 mmol/L时, 生菜的综合品质最好。各处理生菜总干物质积累量在整个生育期不断增大且差异越来越明显, 其中3~4 mmol/L钾素处理生菜收获时干质量明显高于其他处理, 不同钾素处理生菜对氮、磷的吸收都是在第三阶段(05-03—05-13)达到最大, 在其他生育阶段吸收较少; 对钾的吸收量呈不断增加的趋势; 对钙镁的吸收在整个生育阶段都较均匀, 其中在第三阶段(05-03—05-13)吸收强度略有增加。较低的钾浓度处理(2~4 mmol/L)生菜对矿质元素的利用效率均较高。【结论】当钾浓度为4 mmol/L时, 有利于生菜生长, 获得较好的产量及品质, 且矿质元素利用效率较高。

[关键词] 水培生菜; 钾浓度; 动态吸收; 矿质元素

[中图分类号] S758

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)08-0191-06

Effect of potassium concentration on growth and dynamic absorption of mineral elements of hydroponic lettuce

SU Yuanjun, HU Xiaotao, WANG Wen'e, YANG Xin, LI Xingjie

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas,
Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of different potassium levels on growth, quality, use efficiency and dynamic absorption of mineral elements of hydroponic lettuce to obtain suitable potassium level for lettuce. 【Method】 Hydroponic experiments were conducted from March to May 2014 with five different potassium levels to determinate the growth of the lettuce every 10 days. The quality was determined after harvest and use efficiencies of mineral elements were calculated. At last, concentrations of N, P, K, Ca, and Mg in nutrient solution were measured and their absorption at different stages was analyzed. 【Result】 When potassium concentration was 2—6 mmol/L, the leaf area, root dry (fresh) weight, above ground dry (fresh) weight and root cap ratio of the lettuce firstly increased and then decreased with the best indexes at the concentration of 3 mmol/L. With the increase of potassium concentration, contents of nitrate, soluble sugar and soluble protein increased before decreasing, while content of Vc increased con-

[收稿日期] 2014-12-05

[基金项目] 国家“863”计划项目“植物工厂营养液管理与蔬菜品质调控技术装备研究”(2013AA103004)

[作者简介] 苏苑君(1989—), 女, 湖北孝感人, 硕士, 主要从事农业节水理论与技术研究。E-mail: suyuanjun_2014@163.com

[通信作者] 胡笑涛(1972—), 男, 河南南阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。

E-mail: huxiaotao11@nwsuaf.edu.cn

sistently. The best quality was obtained when potassium concentration was 4 mmol/L. The total dry matter amounts of different treatments accumulated constantly in the whole growth period and the differences increased as well. The treatments with 3—4 mmol/L had the highest dry matter amounts. The absorption of nitrogen and phosphorus of all treatments reached the maximum during May 03 to May 13, while the absorption at other stages was much less. The lettuce absorption of potassium had a tendency to strengthen continuously, while the absorption of calcium and magnesium in the whole stage was relatively uniform with slightly increase in the third stage. When potassium concentration was low (2—4 mmol/L), lettuce had high utilization efficiency of mineral elements. 【Conclusion】 The potassium concentration of 4 mmol/L was beneficial to lettuce growth, good yield and quality, and high use efficiency of mineral elements.

Key words: hydroponic lettuce; potassium concentration; dynamic absorption; mineral elements

生菜(*Lactuca sativa* var. *crispa*)在我国不少地区均有栽培,其叶片脆嫩,营养价值高,并有保健功能,是发展前景较好的蔬菜。土壤中植物可吸收的有效钾含量一般不超过全钾量的 2%^[1],且存在雨水淋溶损失。无土栽培是生产绿色蔬菜的一种有效途径,能最大限度地满足根系对水、肥、气等诸条件的要求^[2],且不受当地土质等外界环境影响,试验条件易于控制,结果相对稳定。

已有研究表明,钾对蔬菜的产量和品质有重要影响^[3],施钾可提高番茄、黄瓜的可溶性糖、Vc 含量及产量,但钾素浓度过高则会使蔬菜产量和品质降低^[4-5]。张春华等^[6]研究了土培条件下施钾对生菜品质的影响,结果表明钾质量浓度与生菜粗蛋白含量呈负相关关系,但对生菜 Ca 和维生素 C 含量的影响均不明显。在养分吸收方面,前人的研究表明,钾、镁对油菜植株中钙的含量均表现出拮抗效应^[7];不同氮磷钾浓度下,生菜生长及钾素吸收有明显差异,施氮可降低钾的吸收,适量的磷可促进钾的吸收,钾水平的提高有利于钾的吸收^[8];施钾能明显提高油菜的干物质积累量,促进油菜对钙和镁的吸收^[9]。目前,关于水培条件下钾对生菜生长、品质及矿质元素吸收的影响尚未见报道。本试验系统探讨了不同钾素水平对水培生菜生长、品质、矿质元素利用效率及其动态吸收的影响,以期为水培生菜的营养液管理提供量化指标,为水培生菜的优质高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试生菜为香港玻璃脆散叶生菜,种子由陕西杨凌科星有限公司提供。

1.2 试验方法

试验于 2014-03—2014-05 在西北农林科技大

学中国旱区农业研究院植物工厂中进行,试验期间光照强度为 2 500 lx,光照时间为 12 h/d,昼夜温度为 25 ℃/18 ℃。试验采用育苗移栽的方式进行,2014-04-13 生菜长到六叶一心时,清水洗净根部后用海绵包裹定植于水培箱,每箱种植 4 株,每隔 2 d 用 1 mmol/L 的 H₂SO₄ 或者 1 mmol/L 的 NaOH 调节营养液的 pH 为 5.5~6.5,生长中后期利用充气泵供氧。试验每个处理设置 6 个水培箱,于定植当日和定植后 10,20,30 和 40 d 分别从其中 3 个箱中取营养液 30 mL,测定其中氮、磷、钾、钙和镁浓度,在定植后 10,20,30 和 40 d 时分别从 3 只水培箱中各取 1 株长势相近的生菜,称其根及叶片的鲜、干质量。05-23 收获时,从另外 3 只水培箱中各取 1 株长势相近的生菜,重复 2 次,分别用于鲜、干质量和品质的测定。

1.3 试验处理

试验在山崎配方^[10]基础上设置 5 个钾浓度,分别是 6,5,4,3,2 mmol/L,其他大量元素浓度分别为:N 6 mmol/L,P 0.6 mmol/L,Ca 2.5 mmol/L,Mg 0.5 mmol/L,微量元素及其含量采用通用配方^[10]。除配制母液外,试验所用水均来自当地地下水,钙、镁离子质量浓度较高,分别为 52 和 24 mg/L。

1.4 测定项目和方法

生菜收获时测定其产量和品质,生菜鲜质量采用精度为 0.01 g 的电子天平测定,干质量采用精度为 0.001 g 的电子天平测定。营养液总氮浓度采用过硫酸钾消煮法^[11]测定,总磷浓度采用钼酸铵分光光度法^[11]测定,金属元素钾、钙、镁浓度均用原子吸收分光光度法^[11]测定;生菜品质方面,硝酸盐含量采用比色法^[12]测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝-G250 染色法^[12]测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[12]测定,维生素 C 含量用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[13]测定。

1.5 数据处理与分析

采用 Sigmaplot 10.0 绘图,采用 SPSS 18.0 中的 ANOVA 过程完成方差分析,采用 SPSS 18.0 的 LSD 法完成显著性检验;

植株矿质元素吸收量(mg/株)=矿质元素质量浓度(mg/L)×水深(cm)×水培箱底面积(cm²)/1 000/4(株);

植株矿质元素效率(g/g)=植株干质量(g)/矿质元素吸收量(g)。

2 结果与分析

2.1 钾对水培生菜生长的影响

钾作为生菜需求量最多的矿质元素之一,对生菜的生长有重要影响。从表 1 可以看出,随着钾素水平的增加,生菜的叶片数、叶面积、根干鲜质量、地

上部分干鲜质量以及根冠比均先增大后减小,其中叶面积、根干鲜质量、地上部分干鲜质量均在钾素水平为 3 mmol/L 时达到最大。

不同钾水平下生菜各阶段总干质量的变化如图 1 所示。从图 1 可以看出,定植初期各钾素处理生菜总干质量缓慢积累,各钾素处理生菜总干物质量均较低,05-03 后各钾素处理生菜总干质量差异不断增大;收获前 10 d(05-13),除了 3 mmol/L 与 4 mmol/L 钾素处理的总干质量差异不大外,其余处理均低于 4 mmol/L 钾素处理;到收获时(05-23),3 mmol/L 钾素处理的总干质量明显高于其他钾素处理,2,5 和 6 mmol/L 处理的总干质量明显低于 4 mmol/L 处理,说明钾能显著影响生菜的产量,且较低浓度的钾有利于提高生菜的产量。

表 1 收获时不同钾浓度对水培生菜生长的影响

Table 1 Effect of potassium concentration on growth of hydroponic lettuce after harvest

钾素水平/ (mmol·L ⁻¹) Potassium level	叶片数/ (片·株 ⁻¹) Leaf number	叶面积/ (cm ² ·片 ⁻¹) Leaf area	根鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Root fresh weight	地上部分鲜 质量/(g·株 ⁻¹) Shoot fresh weight	根干质量/ (g·株 ⁻¹) Root dry weight	地上部分干 质量/(g·株 ⁻¹) Shoot dry weight	根冠比 Root shoot ratio
2	12	97.64±6.24 d	2.31±0.18 b	23.92±3.02 b	0.095±0.03 b	1.022±0.08 c	0.093
3	13	212.44±16.42 a	5.01±0.54 a	47.61±2.89 a	0.230±0.02 a	1.860±0.12 a	0.124
4	14	164.82±10.32 b	4.99±0.42 a	45.21±3.54 a	0.210±0.08 a	1.580±0.07 b	0.132
5	11	123.57±8.54 c	1.86±0.34 b	20.21±1.53 bc	0.082±0.01 b	0.799±0.06 d	0.102
6	11	109.04±5.34 cd	1.70±0.09 b	17.55±1.24 c	0.059±0.01 b	0.627±0.08 e	0.094

注:同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平(P<0.05),表 2 同。
Note: Different letters indicate significant differences between treatments at P<0.05 level. The same for Table 2.

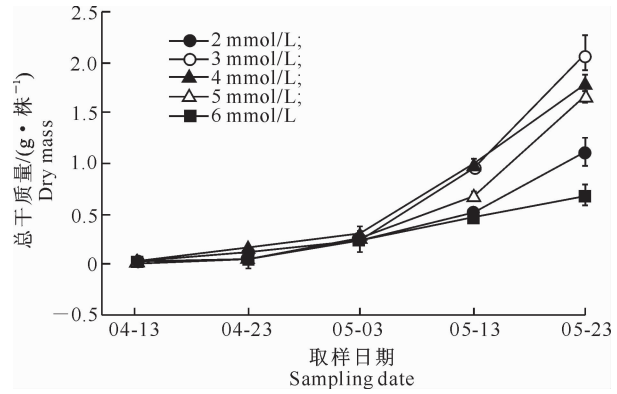


图 1 不同钾水平下生菜各阶段总干质量的变化
Fig.1 Change in total dry mass during the growth of lettuce at different potassium levels

2.2 钾对水培生菜品质的影响

钾是植物体内 60 多种合成酶、氧化酶和转化酶的活化剂,在碳水化合物代谢、呼吸作用及蛋白质代谢中起重要作用,因而被誉为“品质元素”。从表 2 可以看出,随着营养液中钾浓度的增加,生菜硝酸盐

含量先增大后减小,5 和 6 mmol/L 钾处理的硝酸盐含量明显低于其他处理,可知高钾比低钾更有利于降低生菜硝酸盐含量。研究表明,钾能促进硝酸盐的吸收和转化,同时钾能提高植物体内硝酸盐还原酶的活性^[14],这与本研究中钾素浓度高于 4 mmol/L 后硝酸盐含量明显减少的结论一致。增加营养液中钾浓度能显著提高生菜的 Vc 含量,6 mmol/L 钾处理的 Vc 含量比 2 mmol/L 处理提高了 174.74%,且显著高于其他钾水平。生菜的可溶性糖含量随钾素浓度的增大呈现出先增大后减小的趋势,4 mmol/L 钾处理生菜的可溶性糖含量最高,显著高于 5 和 6 mmol/L 钾处理,分别高出 28.10% 和 35.50%,可知较低浓度的钾更有利于生菜可溶性糖含量的积累。可溶性蛋白含量随钾浓度的增加先增大后减小,4 mmol/L 钾处理可溶性蛋白含量最大,分别较 2 和 6 mmol/L 钾处理提高了 36.88% 和 55.30%,说明适宜浓度的钾能促进可溶性蛋白含量的增加。

表 2 不同钾浓度对水培生菜品质的影响

Table 2 Effect of potassium concentration on quality of hydroponic lettuce

钾素水平/(mmol·L ⁻¹) Potassium level	硝酸盐/(μg·g ⁻¹) Nitrate	V _C /(mg·g ⁻¹) Vitamin C	可溶性糖/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹) Soluble protein
2	4 593.90±543.74 ab	0.125 1±0.016 c	4.76±0.411 ab	3.20±0.425 c
3	5 244.03±456.21 a	0.156 3±0.031 bc	5.22±0.318 a	4.16±0.338 ab
4	3 848.30±309.90 b	0.187 5±0.016 bc	5.38±0.119 a	4.83±0.393 a
5	3 463.90±258.95 bc	0.218 8±0.063 b	4.20±0.027 b	3.59±0.283 bc
6	2 344.20±431.75 c	0.343 7±0.063 a	4.00±0.396 bc	3.11±0.441 c

2.3 钾对水培生菜矿质元素效率的影响

不同钾浓度对水培生菜矿质元素吸收效率的影响结果见表 3。由表 3 可以看出,低钾水平(2,3,4 mmol/L)处理生菜的矿质元素效率总体上明显高于高钾处理(5,6 mmol/L),当钾素浓度为 3 mmol/L 时,生菜对氮、钾、钙、镁等矿质元素的效率最大,钾素浓度下降为 2 mmol/L 时矿质元素效率明显降低。生菜对磷、镁的效率较高,对氮、钾、钙的效率相对较低。张恩平等^[15]在番茄上的试验结果表明,随

着钾素施用水平的提高,钾的吸收量仍不断增加,但产量不再增加,即高钾导致了矿质元素利用效率下降,这与本研究结论一致。胡泓等^[16]的研究则表明,低钾胁迫显著提高了水稻对钾的利用效率,这与本研究中更低的钾素水平(2 mmol/L)降低了矿质元素的利用效率有一定的差异,可能与研究对象不同,因而产量计算方式和矿质元素分配不同有关,水稻产量仅指稻谷产量,而生菜产量则是整株产量。

表 3 不同钾浓度对水培生菜矿质元素吸收效率的影响

Table 3 Effect of potassium concentration on use efficiency of mineral elements of hydroponic lettuce

钾水平/(mmol·L ⁻¹) Potassium level	N/(g·g ⁻¹) Nitrogen	P/(g·g ⁻¹) Phosphorus	K/(g·g ⁻¹) Potassium	Ca/(g·g ⁻¹) Calcium	Mg/(g·g ⁻¹) Magnesium
2	5.72	26.46	7.93	4.95	29.94
3	10.26	45.87	11.67	9.48	65.36
4	9.24	49.50	7.76	8.52	38.76
5	4.63	22.62	3.47	4.24	30.03
6	3.33	18.69	2.37	3.50	21.88

2.4 钾对水培生菜矿质元素动态吸收的影响

从图 2 可以看出,在不同生育阶段不同供钾水平下生菜吸氮量差异不明显,但总的影响趋势是一致的。各钾素处理生菜总氮吸收量在第一阶段(04-13—04-23,下同)、第二阶段(04-23—05-03,下同)、第四阶段(05-13—05-23,下同)的变化量不大,但在第三阶段(05-03—05-13,下同)剧烈上升,表明生菜在第一、二、四阶段对氮的吸收强度变化幅度较小,第三阶段是生菜需氮量最大的一个阶段,其吸收氮量占总吸收氮量的 75.68%,平均每株吸收氮 14.96 mg/d。前 2 个阶段,3 和 2 mmol/L 钾素处理生菜对氮的吸收量较大,表明在定植初期较低浓度的钾素水平更有利于生菜对氮的吸收。

从图 2 可见,在不同生育阶段不同供钾水平下生菜吸磷量有一定的差异,主要表现在第一阶段和第二阶段。在第三阶段各钾素处理生菜对磷素平均吸收量最大,占全生育期的 72.85%,表明该阶段生菜需磷量最大,平均每株吸收磷量为 2.93 mg/d。第四阶段生菜需磷量最少。第一到第四阶段生菜平均吸磷量的比例为 1:1.45:7.73:0.43。

从图 2 可见,不同供钾水平下生菜不同生育阶段以及全生育期吸钾量均有明显的差异,但不同钾素处理生菜对钾的吸收趋势是一致的,全生育期内生菜对不同浓度钾的吸收量表现为 6 mmol/L 处理>5 mmol/L 处理>4 mmol/L 处理>3 mmol/L 处理>2 mmol/L 处理。整个生育期,2,3,4,5,6 mmol/L 处理生菜平均每株吸收钾量分别是 3.52,4.48,5.76,6.35,7.23 mg/d。收获前 20 d,4 和 3 mmol/L 钾处理生菜对钾素吸收量较大,表明收获前期较低浓度的钾素水平有利于生菜对钾的吸收。

全生育期 2,3,4,5,6 mmol/L 钾处理生菜对钙的吸收量分别 225.77,220.59,210.14,207.79,195.87 mg/株,且各阶段 3 和 2 mmol/L 钾素处理生菜钙吸收量较其他处理大,表明低钾有利于生菜对钙的吸收。全生育期内不同钾素处理每株生菜平均吸收钙 5.47 mg/d,各阶段对钙的平均吸收量的比例为 1:0.98:1.28:0.74,生菜对钙的吸收强度在各阶段变化不大,但是第三阶段略有增强,而第四阶段则略有减弱。

从图 2 可以看出,全生育期 2,3,4,5,6 mmol/L

钾处理生菜对镁的吸收量分别为 49.63,38.93,46.10,34.26,30.21 mg/株,各阶段平均吸收量比例为 1:1.24:4.10:2.07,表明定植后不同钾素处理生菜对镁的吸收量不断增大,在收获前 10 d 吸

收量减小,其中 2,3,4 mmol/L 处理生菜在最后 20 d 对镁的吸收量较大,表明较低的钾水平有利于生长旺盛时期生菜对镁的吸收,而定植初期钾的浓度对于生菜对镁的吸收影响不大。

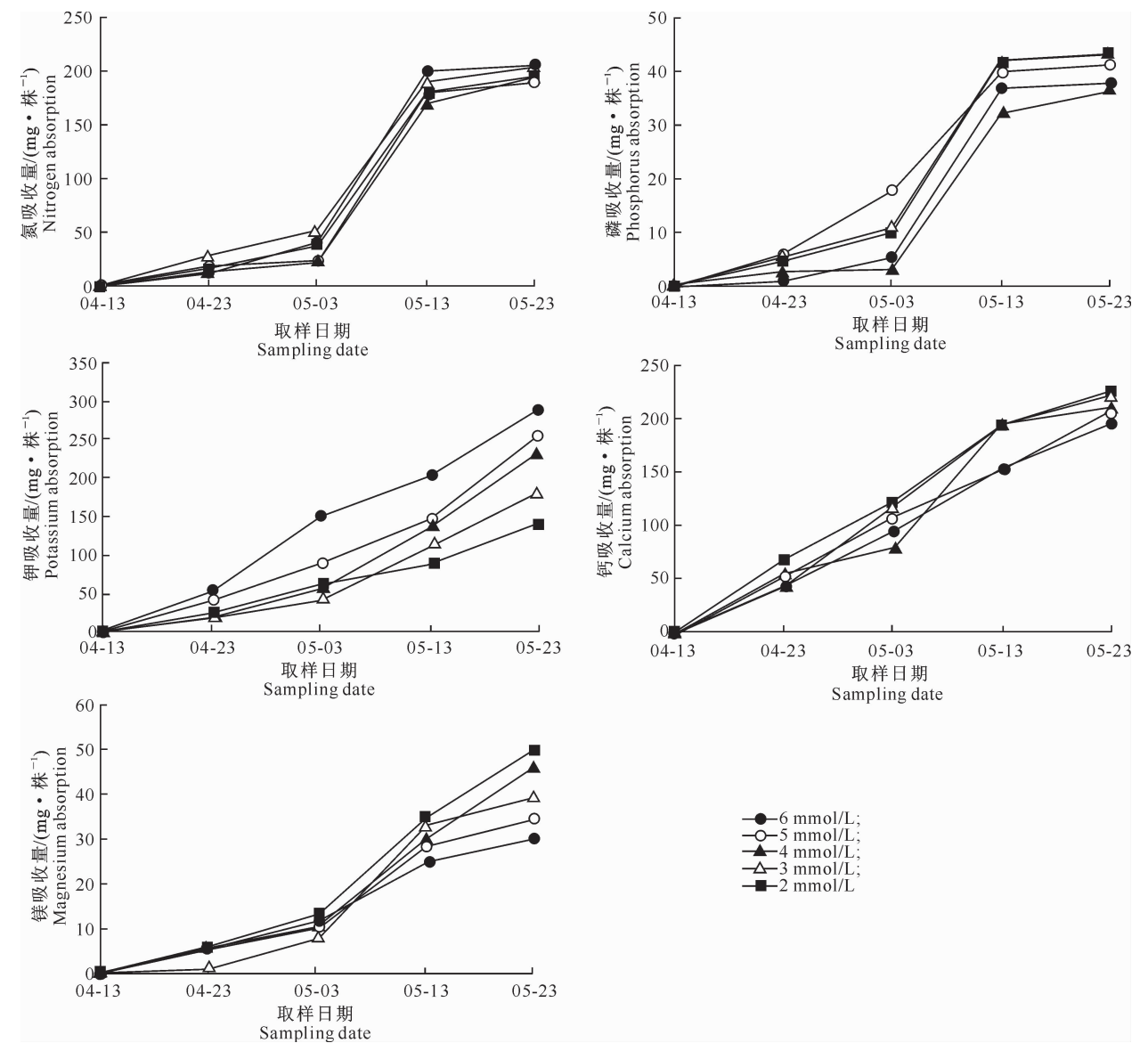


图 2 不同钾水平下各生育阶段水培生菜矿质元素吸收量的动态变化

Fig. 2 Changes in mineral elements during lettuce growth under different potassium levels

3 讨论与结论

众多研究表明,施用适量钾肥可以提高蔬菜中 Vc 的含量^[17-19],但过多的钾肥会降低 Vc 含量。钾在光合作用中起重要作用,能促进 CO₂ 的同化,供应适量钾元素可以增加植株体内碳水化合物的含量。过量的钾会影响植株体内各离子间的平衡,使植株体内能量代谢和生物合成受到影响,其可溶性糖含量出现降低的趋势^[20-21]。钾肥的施用显著影响

蔬菜体内氮素的代谢,钾可促进根对硝酸盐的吸收和转运,从而降低生菜的硝酸盐含量^[14],促进游离氨基酸的合成,增加蔬菜的氨基酸含量,但其作用效果因不同的钾肥用量和品种而有所不同^[17]。本试验结果表明,钾对生菜干质量有重要影响,生菜的干质量在定植初期(04-13—05-03)增幅较小,从 05-03 开始,大幅增加,并且各钾素处理干质量差异越来越明显。当钾浓度为 3 mmol/L 时,生菜叶面积、根干鲜质量、地上部分干鲜质量、根冠比均达到最大,说

明 3 mmol/L 钾有利于生菜的生长。高钾水平(5~6 mmol/L)有利于降低生菜硝酸盐含量,并提高生菜 Vc 含量,而在钾浓度为 4 mmol/L 时,生菜的可溶性糖和可溶性蛋白含量都达到最大,同时生菜中的硝酸盐含量较低且 Vc 含量较高,因而综合认为钾浓度为 4 mmol/L 时生菜可获得较好的产量及品质。

本试验结果表明,较低的钾浓度(2, 3, 4 mmol/L)有利于矿质元素效率的提高,但是过低的钾处理(2 mmol/L)生菜对矿质元素的利用效率有降低的趋势。不同钾素处理生菜对氮、磷的吸收均在 05-03—05-13 达到最大,在其他阶段吸收量较少;对钾的吸收有不断加强的趋势;对钙、镁的吸收在 05-03—05-23 均较均匀,但在 05-03—05-13 吸收强度略有增加。金珂旭^[22]在莴苣上的研究表明,在生长旺盛期莴苣对 N、P 的吸收量较大,全生育期内吸收量先增加后降低,且适宜的钾素条件下莴苣对 N、P 的吸收量最大,与本研究结果一致。牛佳等^[23]研究了现蕾期营养液浓度对基质栽培非洲菊生长和养分吸收的影响,发现较高浓度营养液处理的非洲菊对 N 和 P 的吸收能力较强,而较低浓度营养液处理的非洲菊对 K 和微量元素 Zn、Fe 及 Mn 的吸收能力较强,这与本研究结论存在一定差异,可能与研究的作物及生育阶段不同有关。综上可知,4 mmol/L 钾有利于生菜获得较好的产量、品质并提高矿质元素利用效率,是水培生菜生长的适宜钾浓度。

[参考文献]

[1] 汪 霄,张过师,陈 防. 不同基因型作物及其根际钾素高效利用机理的研究进展 [J]. 湖北农业科学,2011,50(4):600-604.
Wang X,Zhang G S,Chen F. Research advances on the mechanism of high K use efficiency of varied genotypes crops and their rhizospheres [J]. Hubei Agric Sci,2011,50(4):600-604.

[2] 张乃明. 设施农业理论与实践 [M]. 北京:化学工业出版社,2006:39.
Zhang N M. The theory and practice of facility agriculture [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2006:39.

[3] 陶其骧,罗奇祥,刘光荣,等. 施钾对改善作物产品品质的效果 [J]. 江西农业学报,1999(3):29-34.
Tao Q X,Luo Q X,Liu G R,et al. Effect of K application on quality of crop products [J]. Acta Agriculture Jiangxi,1999(3):29-34.

[4] 孙红梅,李天来,须 晖,等. 不同氮水平下钾营养对大棚番茄产量及品质的影响 [J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(1):68-71.
Sun H M,Li T L,Xu H,et al. Effects of potassium fertilizers

on yield and quality of tomato under different application of nitrogen fertilizer [J]. Journal of Shengyang Agricultural University,2000,31(1):68-71.

[5] 杨 阳,徐福利,陈志杰. 施用钾肥对温室黄瓜光合特性及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1232-1237.
Yang Y,Xu F L,Chen Z J. Effects of potassium fertilization on photosynthetic characteristics and yield of cucumber in solar greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2010,16(5):1232-1237.

[6] 张春华,彭克勤,葛 滢. 施钾对生菜品质的影响 [J]. 安徽农业科学,2010,38(6):2854-2855.
Zhang C H,Peng K Q,Ge Y. Effect of potassium nutrition on quality of lettuce [J]. Journal of Anhui Agricultural Science,2010,38(6):2854-2855.

[7] 郑圣先,罗成秀,戴平安,等. 钾、镁营养水平对油菜产量和养分吸收的影响 [J]. 土壤通报,1991,22(2):87-89.
Zheng S X,Luo C X,Dai P A,et al. The influence of P,Mg nutrition level on yield and nutrient absorption of rape [J]. Chinese Journal of Soil Science,1991,22(2):87-89.

[8] 李孝良,王 伟. 无土栽培生菜吸钾规律研究 [J]. 安徽技术师范学院学报,2004,18(1):32-34.
Li X L,Wang W. Study on K nutrition characteristic of cos lettuce [J]. Journal of Anhui Technical Teachers College,2004,18(1):32-34.

[9] 刘冬碧,陈 防,鲁剑巍,等. 施钾对油菜干物质积累和钾、钙、镁吸收的影响 [J]. 土壤肥料,2001,4(4):24-28.
Liu D B,Chen F,Lu J W,et al. Effect of K application on dry matter accumulation and absorption of K,Ca and Mg of oil rape [J]. Soils and Fertilizers,2001,4(4):24-28.

[10] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京:中国农业出版社,2011.
Guo S R. Science of soilless culture [M]. Beijing:China Agriculture Press,2011.

[11] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environmental Protection Administration. Water and wastewater monitoring analysis method [M]. Beijing:Environment Science Press,2002.

[12] 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,1999.
Li H S. The experiment principle and technique on plant physiology and biochemistry [M]. Beijing:Higher Education Press,1999.

[13] 史树德,孙亚卿,魏 磊. 植物生理学试验指导 [M]. 北京:中国林业出版社,2011.
Shi S D,Sun Y Q,Wei L. Plant physiology experiment-instruction [M]. Beijing:China Forestry Publishing,2011.

[14] 杨小峰. 氮磷钾供应对生菜生长和品质的影响 [D]. 武汉:华中农业大学,2006.
Yang X F. Effects of the amount of application of N,P,K on the growth and quality of lettuce [D]. Wuhan:Huazhong Agricultural University,2006.

1627.

[16] Brown D A, Hance K W, Rogers C J, et al. Serum macrophage inhibitory cytokine-1 (MIC-1/GDF15); a potential screening tool for the prevention of colon cancer [J]. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 2012, 21(2): 337-346.

[17] Corre J, Labat E, Espagnolle N, et al. Bioactivity and prognostic significance of growth differentiation factor GDF-15 secreted by bone marrow mesenchymal stem cells in multiple myeloma [J]. *Cancer Research*, 2012, 72(6): 1395-1406.

[18] Mensching L, Borger A K, Wang X, et al. Local substitution of GDF-15 improves axonal and sensory recovery after peripheral nerve injury [J]. *Cell and Tissue Research*, 2012, 350(2): 225-238.

[19] Charalambous P, Wang X, Thanos S, et al. Regulation and effects of GDF-15 in the retina following optic nerve crush [J]. *Cell and Tissue Research*, 2013, 353(1): 1-8.

[20] 詹 峰, 曾晓燕, 张 晓, 等. 抗人生长转化因子 15 单克隆抗体制备及鉴定 [J]. *细胞与分子免疫杂志*, 2011, 27(5): 539-544.

Zhan F, Zeng X Y, Zhang X, et al. Preparation and identification of monoclonal antibody against human growth differentiation factor 15 [J]. *Chinese Journal of Cellular and Molecular Immunology*, 2011, 27(5): 539-544.

[21] 刘 侃, 汪 炬, 谢秋玲, 等. 重组类胰岛素样生长因子-I 的纯化与复性 [J]. *中国生物工程杂志*, 2006, 26(2): 29-33.

Liu K, Wang J, Xie Q L, et al. Purification and refolding of recombinant human insulin-like growth fantor 1 [J]. *China Biotechnology*, 2006, 26(2): 29-33.

[22] 杨 渐, 俞昌喜, 廖联明, 等. 乳糖诱导人胰岛素样生长因子-1 在大肠杆菌中的表达 [J]. *海峡药学*, 2010, 22(8): 248-252.

Yang J, Yu C X, Liao L M, et al. Expression of human insulin-like growth factor-1 in *Escherichia coli* induced by Lactose [J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2010, 22(8): 248-252.

[23] 张守涛, 梁会娟, 张 芸. 人 IGF-1 在大肠杆菌中的可溶表达和纯化 [J]. *生物技术*, 2010, 20(2): 14-16.

Zhang S T, Liang H J, Zhang Y. Soluble expression and purification of hIGF-1 in *E. coli* [J]. *Biotechnology*, 2010, 20(2): 14-16.

(上接第 196 页)

[15] 张恩平, 李天来, 葛晓光, 等. 钾营养对番茄光合生理及氮磷钾吸收动态的影响 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2006, 36(5): 532-535.

Zhang E P, Li T L, Ge X G, et al. Effects of potassium on photosynthetic physiologies and active absorption of N, P, K in tomato [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 36(5): 532-535.

[16] 胡 泓, 王光火, 张奇春. 田间低钾胁迫条件下水稻对钾的吸收和利用效率 [J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(6): 527-532.

Hu H, Wang G H, Zhang Q C. Potassium uptake and use efficiency of rice under low potassium stress field conditions [J]. *Chinese J Rice Sci*, 2004, 18(6): 527-532.

[17] Ni W Z, Hardter R, Ni W Z. Influence of potassium fertilization on yield and quality of foliar vegetable crops [J]. *Pedosphere*, 2001, 11: 77-82.

[18] El-Bassiony A M. Effect of potassium fertilization on growth, yield and quality of onion plants [J]. *J Appl Sci Res*, 2006, 2(10): 780-785.

[19] Premuzic Z, Garate A, Bonilla I. Production of lettuce under different fertilization treatments, yield and quality [J]. *Acta Horticulturae*, 2002, 563: 65-69.

[20] 倪吾钟, 何念祖, 林荣新. 钾肥对大白菜产量形成和叶球品质的影响 [J]. *植物营养与肥科学报*, 1996, 2(2): 162-168.

Ni W Z, He N Z, Lin R X. Influence of potash on head yield and quality of Chinese cabbage [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(2): 162-168.

[21] Cometti N, N-Matias G C S, Zonta, et al. Nitrogen compounds and soluble sugars in tissues of organic, hydroponic and conventional lettuce [J]. *Horticultura Brasileira*, 2004, 22(4): 748-753.

[22] 金珂旭. 不同供钾水平莴苣氮磷钾吸收特性和钾素诊断研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2014.

Jin K X. Study on K, N and P absorption and potassium diagnosis of lettuce at different K fertilizer level [D]. Chongqing: Southwest University, 2014.

[23] 牛 佳, 程智慧. 现蕾期营养液浓度对基质栽培非洲菊生长和养分吸收的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(1): 130-135.

Niu J, Cheng Z H. Effect of different nutrient absorbance of *Gerbera jamesonii* growing in substrates at flower budding stage [J]. *Journal of Northwest A&F Agricultural (Natural Science Edition)*, 2013, 41(1): 130-135.