

氮磷钾配施对大葱产量及养分吸收利用特性的影响

石健, 李炜蔷, 侯丽丽, 王允, 徐坤*

山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东果蔬优质高效生产协同创新中心, 山东泰安271018

摘要: 为明确大葱对根际施肥的响应特性, 本文研究了“3414”试验设计方案中部分施肥处理对大葱产量及氮磷钾吸收利用效率的影响。结果表明, 氮磷钾全量平衡施肥处理($N_2P_2K_2$)的大葱生长量及氮、磷、钾吸收量均显著高于 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 等缺素施肥处理; 尽管全生育期内不同施肥处理大葱各器官氮磷钾含量均表现为先升高后降低的趋势, 但缺素施肥处理显著降低了各器官相应缺乏元素的含量, 因此不同施肥处理大葱对氮磷钾的吸收比例显著不同, 其中 $N_2P_2K_2$ 的N、 P_2O_5 、 K_2O 吸收比例为1:0.56:0.97, 而 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 等则分别显著降低了N、 P_2O_5 、 K_2O 的吸收比例; $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 等缺素施肥处理的大葱产量虽均较 $N_0P_0K_0$ 显著增加, 但较 $N_2P_2K_2$ 则分别减产35.66%、23.37%和33.50%, 其肥料农学效率亦较 $N_2P_2K_2$ 分别降低了46.21%、22.73%和31.89%, 表明氮素对大葱产量形成的影响最大, 钾素次之, 磷素较小, 而氮磷钾合理配施则有利于提高大葱产量和肥料利用效率。

关键词: 大葱; 产量; 施肥; 氮; 磷; 钾; 吸收利用

Effects of N, P, K Combined Application on the Yield, Nutrition Absorption and Utilization Characteristics of *Allium fistulosum*

SHI Jian, LI Wei-Qiang, HOU Li-Li, WANG Yun, XU Kun*

Stage Key Laboratory of Crop Biology/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Creation in Huang-Huai Region, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Shandong Collaborative Innovation of Fruit & Vegetable Quality and Efficient Production, Tai'an, Shandong 271018, China

Abstract: In order to clarify the response to fertilization, the yield, nitrogen, phosphorus and potassium absorption and utilization characteristics of *Allium fistulosum* were studied by applying different fertilization levels which were from “3414” experiment design. The results showed that the growth and nitrogen, phosphorus, potassium absorption of *A. fistulosum* under the balanced fertilization treatment ($N_2P_2K_2$) were significantly higher than other elements deficiency fertilization treatments such as $N_0P_2K_2$, $N_2P_0K_2$, $N_2P_2K_0$. During the whole growth stage, the contents of nitrogen, phosphorus, potassium in various organs firstly increased and then decreased in different treatments, but the elements deficiency treatments significantly reduced the contents of corresponding elements in various organs. Therefore, in different fertilizer treatments, the absorption ratio of nitrogen, phosphorus, potassium were significantly different, such as N, P_2O_5 , K_2O absorption ratio of $N_2P_2K_2$ treatment was 1:0.56:0.97. However, $N_0P_2K_2$, $N_2P_0K_2$ and $N_2P_2K_0$ treatments were significantly reduced the absorption ratio. Compared with $N_0P_0K_0$, the yield of the elements deficiency treatments such as $N_0P_2K_2$, $N_2P_0K_2$, $N_2P_2K_0$ were increased significantly, but their yield reduced 35.66%, 23.37% and 33.50% respectively compared with $N_2P_2K_2$, and fertilizer utilization efficiency also decreased by 46.21%, 22.73% and 31.89%. The results indicated that nitrogen had the biggest effect on *A. fistulosum* yield formation, and potassium and phosphorus followed by. In conclusion, reasonable nitrogen, phosphorus, potassium fertilization combined was beneficial to improve the yield and fertilizer utilization rate of *A. fistulosum*.

Key words: *Allium fistulosum* (green Chinese onion); yield; fertilization; nitrogen; phosphorus; potassium; absorption and utilization

大葱为百合科葱属二、三年生草本植物, 以叶片及叶鞘(假茎)为食用器官, 是我国人民喜食的调味佳品, 常年栽培面积约1 500万亩, 在我国蔬菜生产中占有非常重要的地位。大葱耐寒、耐旱能

收稿 2014-12-22 修定 2015-05-09
资助 山东省现代农业产业技术体系专项资金(SDAIT-02-022-05)。
* 通讯作者(E-mail: xukun@sdaa.edu.cn; Tel: 0538-8241783)。

力强,喜冷凉不喜高温,对土壤条件要求不高,具有较强的适应性,但因其根系较小,吸收力弱,良好生长发育需氮磷钾平衡施肥(林昌华等2009)。但长期以来,大葱生产多按传统经验进行,生产中过分重施氮肥,轻施磷、钾肥等不合理施肥现象较为突出。虽然近年有学者对大葱养分吸收规律进行了一些研究,明确了大葱对氮磷钾元素的吸收规律(江丽华等2007;董飞等2012),但均未涉及氮磷钾配施对养分吸收利用特性的影响,而施肥种类则显著影响大葱的生长及养分的吸收(张玉凤等2010;孔灵君等2014)。而科学的氮磷钾配比,不仅可显著提高作物产量和品质,促进干物质的转运,还能提高养分利用效率。李文西等(2007)研究表明,氮磷钾配施显著提高饲草产量,增加干物质积累,促进饲草的养分吸收,明显提高氮、磷和钾的利用率。高志红等(2011)研究得出,适当比例的氮磷钾配施既可显著增加木薯植株的氮磷钾含量和积累量,又可提高产量。Nguyen等(2002)也得到类似研究结果。何萍等(1998)研究表明,适宜的氮磷钾配施可促进玉米植株生育前期总生物量的积累以及生育后期干物质从营养体向籽粒的转移,从而获得较高产量。赵锴等(2008)研究认为,氮磷钾显著影响洋葱产量和品质,且磷肥影响最大,氮肥次之,钾肥最小。为了进一步明确施肥对大葱的生物学效应,本文研究了氮、磷、钾配施对大葱生长及养分吸收利用特性的影响,以期为大葱科学施肥提供参考。

材料与方法

1 材料与试验设计

试验于2012~2013年在山东农业大学园艺实验站进行。供试土壤为壤土, pH 6.93, 有机质含量 $10.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $0.575 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮(N) $54.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷(P_2O_5) $38.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾(K_2O) $65.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试大葱(*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino)品种为‘天光’,于4月12日播种育苗,6月23日定植,行距90 cm,株距3.5 cm。按“3414”试验设计方案(唐启义2010)进行施肥处理,其 N_0 、 P_0 、 K_0 施肥量均为0, N_2 、 P_2 、 K_2 施肥量分别为 $\text{N } 600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,小区面积 18 m^2 ,随机区组排列,重复3

次。供试氮磷钾肥分别为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P_2O_5 12%)和硫酸钾(K_2O 50%)。根据大葱生长发育规律和肥料特性,施肥分4次进行,其氮磷钾施用的相对比例分别为基肥20%-30%-15% (6-23)、缓苗肥20%-30%-20% (7-24)、发棵肥30%-30%-35% (8-26)、假茎充实肥30%-10%-30% (9-27)。

2 测定指标与方法

为便于样品测试分析,本研究选取“3414”试验方案中的 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 、 $\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$ 、 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ 等5个处理进行取样分析。大葱定植时选取生长较为一致的幼苗作为第一次取样,定植后每隔30 d左右取样一次,直至大葱收获。每次取样的样品洗净后,按根(R)、假茎(C)和叶(L)等分开,置烘箱内 105°C 杀青15 min,在 75°C 下烘干至恒重。将干样磨碎后过0.25 mm筛,用万分之一天平准确称取0.5 g,以 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮至澄清,用凯氏定氮法测全氮含量,钼锑抗显色分光光度法测全磷含量,原子吸收分光光度法测全钾含量(鲍士旦2000)。

肥料农学效率(agronomic efficiency, AE)是指特定施肥条件下,单位施肥量所增加的作物经济产量。公式为: $\text{AE} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = (Y_f - Y_0) / F$ 。式中, $Y_f (\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$: 某一特定的化肥施用下作物的经济产量; $Y_0 (\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$: 对照(不施特定化肥条件下)作物的经济产量; $F (\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$: 肥料纯养分(N、 P_2O_5 和 K_2O)投入量。单位产量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)=(小区产量/小区面积) $\times 10\ 000$ 。增产率=(处理组产量-对照组产量)/对照组产量 $\times 100\%$ 。吸收量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)=(每株大葱吸收氮、磷、钾的质量 $\times$ 每公顷大葱棵数)。吸收比例=1: (每株大葱磷吸收质量/氮吸收质量): (每株大葱钾吸收质量/氮吸收质量)。

实验结果

1 施肥对大葱生长量的影响

图1显示,大葱定植初期,干物质积累极为缓慢,处理间差异不显著。随着时间的推移,大葱生长速率逐渐加快,处理间差异逐渐加大,尤以叶片表现为甚。定植90 d时, $\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$ 和 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ 的叶片干物质质量分别比 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 高21.89%、53.23%、60.14%和91.01%;之后,植株进入假茎充实期。至定植120 d后,尽管叶片的干物

质量增加甚少, 而假茎的生长量则仍迅速增加, 收获时 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 和 $N_2P_2K_2$ 的单株干物质质量分别比 $N_0P_0K_0$ 的增加39.55%、71.71%、57.04%和103.6%, 但 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 和 $N_2P_2K_0$ 的单株干物质质量分别比 $N_2P_2K_2$ 降低了31.45%、15.65%和22.86%, 表明缺素对大葱生长的影响以氮>钾>磷。但从不同器官干物质质量看, 对大葱根系的影响以磷>氮>钾, 对假茎的影响以钾>氮>磷, 对叶片的影响以氮>磷>钾。

2 施肥对不同大葱器官氮、磷、钾含量的影响

由图2可以看出, 大葱植株各器官氮、磷、钾含量均随生长的进行, 呈先升高后降低的趋势, 但不同器官氮、磷、钾含量达峰值的时期存在差异。如 $N_2P_2K_2$ 处理的根系氮、钾含量均在定植后90 d达到最大值, 磷含量则在定植后60 d达到最大值; 假茎中的磷、钾含量均在定植后90 d达到最大值, 而氮含量在定植后60 d达到最大值; 叶片中的氮、磷、钾含量均在定植后90 d达到最大值。氮、磷、钾含量与施肥密切相关, 如定植60 d时, $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 和 $N_2P_2K_2$ 施氮处理的大葱假茎氮含量分别为2.42%、2.50%和2.36%, 而缺氮的 $N_0P_2K_2$ 和 $N_0P_0K_0$ 缺氮处理的假茎氮含量仅分别为1.84%和1.77%, 施氮处理大葱假茎氮含量较缺氮处理平均高27.3%。其他时期相应施肥处理间也

有类似的趋势, 表明缺素可显著影响该元素在大葱各器官中的含量。

3 施肥对大葱氮磷钾吸收规律的影响

图3表明, 随生长的进行, 各处理大葱植株对氮、磷、钾的吸收积累量呈不同程度的增加, 至定植后120 d, 对氮、磷、钾的吸收速率明显减缓, 这与大葱植株干物质的积累动态一致。但不同处理大葱氮磷钾的吸收积累量显著不同, 以 $N_2P_2K_2$ 的N、 P_2O_5 和 K_2O 吸收量较高, 分别达0.75、0.42和0.73 g·株⁻¹, 较 $N_0P_0K_0$ 分别增加138.5%、120.2%和188.1%。施肥处理中缺乏哪种元素, 不仅该元素的吸收量显著降低, 同时也显著降低了另外两种元素的吸收量。

为了进一步探讨大葱不同生长阶段对氮磷钾的吸收特性, 对 $N_2P_2K_2$ 处理的大葱进行了相关分析。结果(表1)表明, 幼苗期氮、磷、钾的吸收速率较低; 缓苗越冬期, 吸收速率有所增加, 进入叶丛速生期则迅速增加, 该时期N、 P_2O_5 和 K_2O 的吸收速率分别达到6.80、3.80和6.41 mg·株⁻¹·d⁻¹; 假茎充实期, 氮、磷、钾吸收积累速率减缓。尽管大葱幼苗期生长时间长达70 d, 但氮、磷、钾的吸收量仅分别占全生育期的5%; 越冬缓苗期的相对吸收量也仅为6%左右; 而叶丛速生期则高达80%左右; 假茎充实期虽然植株干物质质量仍显著增加, 但

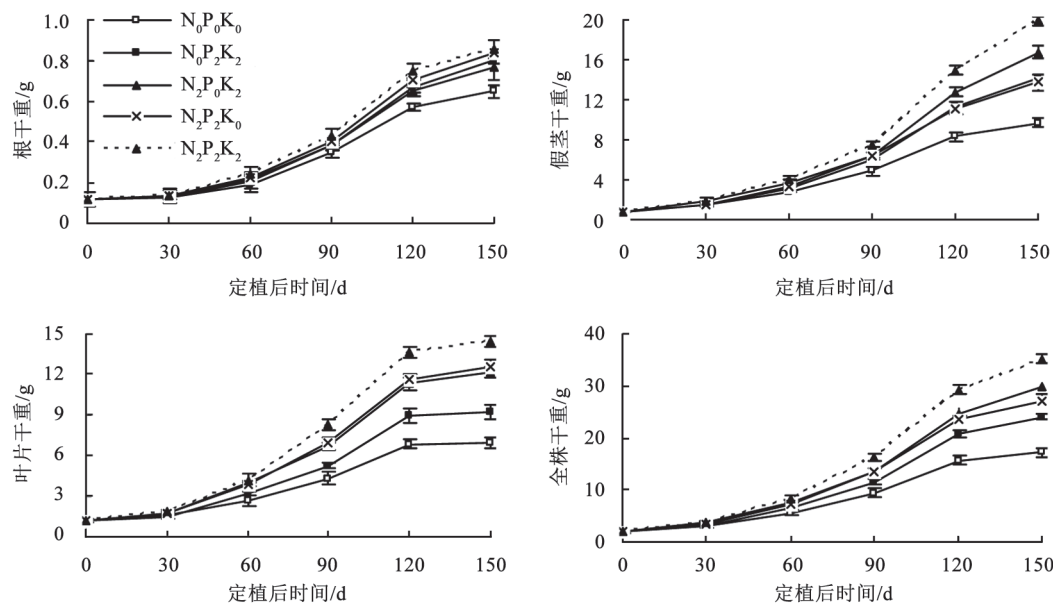


图1 氮磷钾配施对大葱干重的影响

Fig.1 Effects of N, P and K combined application on dry matter of *A. fistulosum*

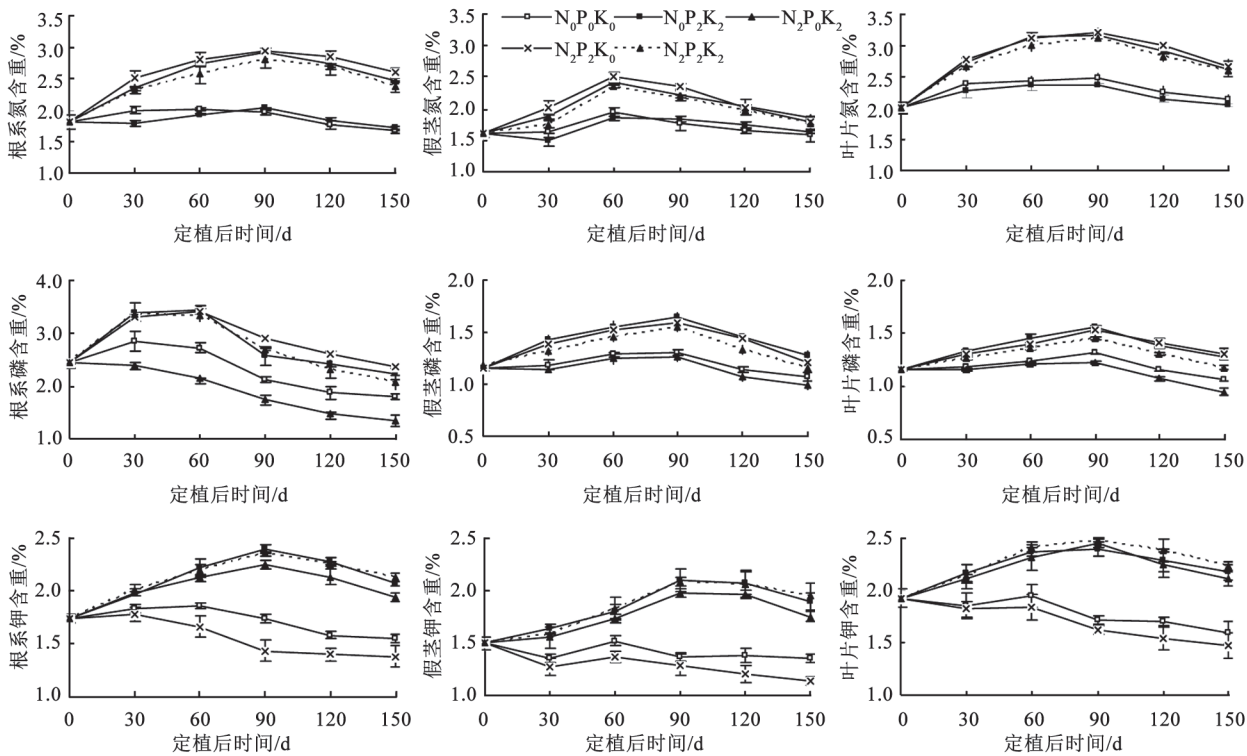


图2 氮磷钾配施对大葱不同器官氮、磷、钾含量的影响
Fig.2 Effects of N, P and K combined application on the contents of N, P, K in different organs of *A. fistulosum*

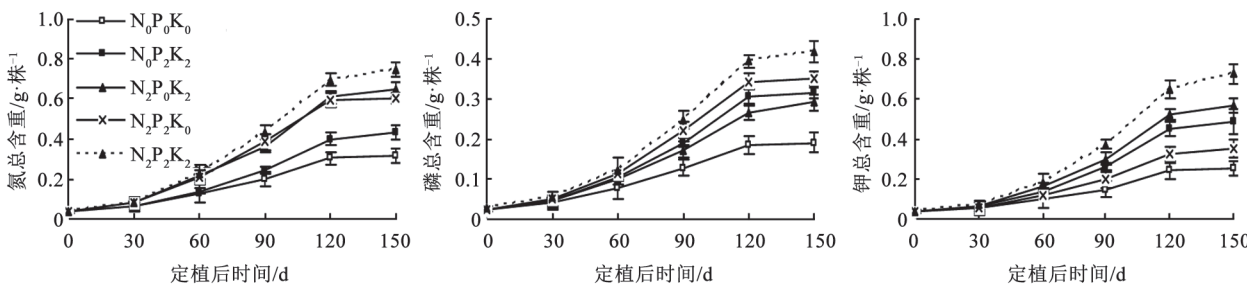


图3 氮磷钾配施对大葱氮、磷、钾吸收积累量的影响
Fig.3 Effects of N, P and K combined application on N, P₂O₅, K₂O accumulation of *A. fistulosum*

表1 正常施肥大葱不同生育期对氮磷钾的吸收

生育期(生长时间)	吸收速率/mg·株 ⁻¹ ·d ⁻¹			吸收量/mg·株 ⁻¹			相对吸收量/%			吸收比例 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
幼苗期(70 d)	0.53 ^d	0.36 ^d	0.51 ^d	39.42 ^c	24.87 ^c	35.52 ^c	5.28	5.94	4.88	1:0.63:0.90
缓苗越冬期(30 d)	1.59 ^c	0.91 ^c	1.21 ^c	47.75 ^c	27.42 ^c	36.21 ^c	6.39	6.55	4.98	1:0.57:0.76
叶丛速生期(90 d)	6.80 ^a	3.80 ^a	6.41 ^a	612.20 ^b	342.20 ^b	577.10 ^b	81.99	81.74	79.33	1:0.56:0.94
假茎充实期(30 d)	1.65 ^c	0.81 ^c	2.62 ^b	49.56 ^c	24.18 ^c	78.67 ^c	6.64	5.77	10.81	1:0.49:1.59
全生育时期(220 d)	3.39 ^b	1.90 ^b	3.31 ^b	746.70 ^a	418.70 ^a	727.50 ^a	100.00	100.00	100.00	1:0.56:0.97

同列数字后不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$), 下表同此。

对氮、磷、钾的吸收速率较低,其相对吸收量仅分别占全生育时期的6.64%、5.36%和10.81%。此外,大葱不同生育时期对氮、磷、钾的吸收比例也不相同。从全生育期看,大葱以吸收氮素较多,钾素次之,磷素较少,其吸收比例为1:0.56:0.97。通过进一步计算得出,全量平衡施肥处理下每生产1 000 kg大葱假茎约分别吸收N 4.27、P₂O₅ 2.40和K₂O 4.17 kg。

4 施肥对大葱产量及氮磷钾吸收利用效率的影响

由表2可知,不同施肥处理的大葱产量显著不同,以N₂P₂K₂较高,达100.38 t·hm⁻²,较N₀P₀K₀提高了125.16%,而N₀P₂K₂、N₂P₀K₂、N₂P₂K₀处理的增产率分别为44.87%、72.92%和49.73%,表明缺素施肥虽亦可显著提高大葱产量,但较平衡施肥的产量显著降低,且以缺氮对大葱产量的影响较大,缺钾次之,缺磷较小。因此,肥料农学效率以平衡施肥较高,达31.01 kg·kg⁻¹,而N₀P₂K₂、N₂P₀K₂、N₂P₂K₀农学效率分别为16.68、23.96和21.12 kg·kg⁻¹。缺素施肥也显著影响了大葱对氮磷钾的吸收量,且对吸收量的影响与产量一致;同时,缺素还显著降低了大葱植株对缺乏元素的吸收比率。

讨 论

大葱是我国北方栽培的主要葱属蔬菜,虽然不同品种对环境的适应性存在一定差异,但均具有较强的耐热、耐旱能力,可安全越夏或越冬,因此,不同大葱品种的生长发育特性较为相似(苏华等2006)。本试验所用‘天光’大葱是目前山东出口大葱的主栽品种(庄文彬2011),与传统品种章丘大葱生长规律一致,其对氮、磷、钾的吸收规律与植株的生长特性密切相关(江丽华等2007)。由于

大葱种子较小,幼苗期生长缓慢,且定植后缓苗时间较长,生长量较小,对氮、磷、钾的吸收也较少,大葱缓苗后,生长速率逐渐加快,对氮、磷、钾的吸收显著增加,生长后期由于温光环境较差,大葱生长速率减缓,对氮、磷、钾的吸收速率降低。但由于不同施肥处理大葱的生长量显著不同,特别是缺素施肥处理,不仅显著降低了大葱各器官相应缺乏元素的含量,降低了其吸收比率,还显著影响了对其他元素的吸收,改变了大葱对氮磷钾的吸收比率,这与前人在水稻(王伟妮等2010)、木薯(孟庆伟和高辉远2011)、饲草(曹翠玲和李生秀2003)的研究结果相似。

大葱是以营养器官为产品的蔬菜,生长前期以构建同化器官叶片为主,生长后期则以营养贮存器官假茎充实为主,因此不同生长阶段对养分的吸收比例不同,这与不同养分的生理功能不无关系。由于氮、磷是植物体内构成蛋白质、核酸、磷脂的主要成分(孟庆伟和高辉远2011),充足的氮素有利于增加叶面积,提高叶绿素含量(曹翠玲和李生秀2003),增强光合能力,而磷素则可促进作物根系发育(米国华等2004;段海燕等2002),在大葱生长前期和中期,对氮、磷素的吸收比例较高。由于钾素能加速碳水化合物向产品器官的运输,促进产品器官膨大(史春余等2002;刘芸等2004),而大葱的生长后期主要是以假茎充实为主,所以对钾素的吸收比例逐渐增加。

大量研究和生产实践表明,氮磷钾素不足或缺乏,可显著抑制作物的正常生长(张德军2009;孙义祥等2009;丛野等2009),但不同作物对氮磷钾的反应存在差异。本试验中,缺氮施肥的大葱产量较全量平衡施肥降低了35.65%,而缺钾、缺磷施肥处理的产量分别降低了33.50%和23.37%,表明

表2 氮磷钾配施对大葱产量和吸收效率的影响
Table 2 Effects of N, P and K combined application on the yield and absorption efficiency of *A. fistulosum*

处理	总产量/kg	单位产量/t·hm ⁻²	增产率/%	吸收量/kg·hm ⁻²			吸收比例 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)	肥料农学效率/kg·kg ⁻¹
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
N ₀ P ₀ K ₀	80.26±0.68	44.58 ^d	0	0.31 ^d	0.19 ^d	0.23 ^e	1:0.61:0.81	0 ^d
N ₀ P ₂ K ₂	116.27±4.50	64.58 ^c	44.87	0.43 ^c	0.32 ^c	0.46 ^c	1:0.73:1.12	16.68 ^c
N ₂ P ₀ K ₂	138.46±2.50	76.92 ^b	72.54	0.65 ^b	0.28 ^b	0.54 ^b	1:0.45:0.87	23.96 ^b
N ₂ P ₂ K ₀	120.17±2.42	66.75 ^c	49.73	0.60 ^b	0.36 ^b	0.34 ^d	1:0.58:0.58	21.12 ^b
N ₂ P ₂ K ₂	180.68±0.85	100.38 ^a	125.16	0.75 ^a	0.42 ^a	0.67 ^a	1:0.56:0.97	31.01 ^a

氮肥对大葱产量形成的作用最大,这与林昌华(2009)、江丽华(2007)的研究结果一致, Herison等(1993)在洋葱上也得出了相似的结论。全量施肥不仅显著提高了大葱产量,还显著促进了植株对氮磷钾的吸收,提高了肥料农学效率,本试验条件下,大葱全量施肥的肥料农学效率达 $30.01\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$,较氮、磷、钾分别缺乏施肥提高了85.91%、29.42%和49.83%,表明氮磷钾配施不仅有利于促进大葱的生长,还显著提高了养分利用效率。

参考文献

- 鲍士旦(2000). 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 263~270
- 曹翠玲, 李生秀(2003). 供氮水平对小麦生殖生长期叶片光合速率, NR 活性和核酸含量及产量的影响. 植物学通报, 20 (3): 319~324
- 丛野, 李艳君, 周灿金, 邹崇顺, 张学昆, 廖星, 张春雷(2009). 氮磷钾对湿害胁迫下甘蓝型油菜产量的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (5): 1122~1129
- 董飞, 陈运起, 刘世琦, 高莉敏, 王传增, 陈伟(2012). 大葱需肥规律的研究. 山东农业科学, 44 (11): 66~70
- 段海燕, 徐芳森, 王运华(2002). 甘蓝型油菜不同磷效率品种苗期根系生长及磷营养的差异. 植物营养与肥料学报, 8 (1): 65~69
- 高志红, 陈晓远, 林昌华, 张宇鹏, 何永胜(2011). 不同施肥水平对木薯氮磷钾养分积累分配及其产量的影响. 中国农业科学, 44 (8): 1637~1645
- 何萍, 金继运, 林葆(1998). 不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模式研究. 植物营养与肥料学报, 4 (2): 123~130
- 江丽华, 刘兆辉, 张文君(2007). 高产条件下大葱干物质积累和养分吸收规律的研究. 山东农业科学, 2 (1): 69~71
- 孔灵君, 徐坤, 何平(2014). 氮硫互作对大葱氮, 磷, 钾, 硫吸收分配特性的影响. 植物营养与肥料学报, 20 (1): 172~178
- 李文西, 鲁剑巍, 鲁君明, 李小坤, 蒋志平(2007). 江汉平原苏丹草-黑麦草轮作中氮磷钾肥效果及养分利用率. 草地学报, 15 (5): 460~464
- 林昌华, 白由路, 罗国安(2009). 氮、磷、钾肥对大葱商品性状及其产量的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (3): 649~655
- 刘芸, 朱利泉, 龙云, 操国兴, 钟章成(2004). 钾对番红花球茎膨大的促进效应. 植物营养与肥料学报, 10 (1): 96~100
- 孟庆伟(2011). 植物生理学. 第2版. 北京: 中国农业科技出版社, 89~92
- 米国华, 邢建平, 陈范骏, 刘向生, 刘燕(2004). 玉米苗期根系生长与耐低磷的关系. 植物营养与肥料学报, 10 (5): 468~472
- 史春余, 王振林, 赵秉强(2002). 钾营养对甘薯某些生理特征和产量形成的影响. 植物营养与肥料学报, 8 (1): 81~85
- 苏华, 徐坤, 刘伟(2006). 不同大葱品种小拱棚越冬栽培试验. 中国蔬菜, (6): 7~10
- 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 蒋庆功, 程琳琳, 崔振岭, 陈新平, 江荣风, 张福锁(2009). 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系. 植物营养与肥料学报, 15 (1): 197~203
- 唐启义(2010). DPS数据处理系统. 第2版. 北京: 科学出版社, 269~272
- 王伟妮, 李小坤, 鲁剑巍, 李慧, 鲁明星, 戴志刚(2010). 氮磷钾配合施用对水稻养分吸收, 积累与分配的影响. 华中农业大学学报, 29 (6): 710~714
- 张德军(2009). 利用“3414”试验设计进行水稻测土配方施肥研究. 中国土壤与肥料, (6): 52~56
- 张玉凤, 董亮, 李彦, 张英鹏, 孙明, 杨力, 于淑芳, 陈广思(2010). 控释BB肥对大葱生长和养分吸收规律的影响. 华北农学报, 25 (B08): 230~235
- 赵锴, 李瑾, 徐宁, 徐坤(2008). 氮磷钾配施对洋葱产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 14 (3): 558~563
- 庄文彬(2011). 日本天光一本大葱的引种与栽培关键技术. 中国蔬菜, (7): 37~38
- Herison C, Masabni JG, Zandstra BH (1993). Increasing seedling density, age, and nitrogen fertilization increases onion yield. Hort Sci, 28 (1): 23~25
- Nguyen H, Schoenau JJ, Nguyen D (2002). Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. Plant Nutr, 25 (3): 425~442