植物营养与肥料学报 2015,21(1): 251 -258
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2015.0128

氮硫配施对生姜生长和氮素吸收的影响

吴萍萍, 王家嘉, 李录久*
(安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 安徽合肥 230031)

摘要:【目的】施肥显著影响生姜的产量及品质,在施氮的基础上合理增施硫肥可通过协调氮代谢的能力,促进干物质的合成与积累,从而提高生姜产量。本文在砂姜黑土区采用田间试验,研究氮硫配施对生姜不同生育期干物质积累、产量及氮素吸收的影响,为提高生姜产量及养分吸收提供理论依据。**【方法】**试验设置 4 个 N 水平(0、300、450、600 kg/hm^2)和 2 个 S 水平(S 0、50 kg/hm^2),在发棵期、根茎膨大期和收获期取样,测定茎、叶及根茎的干物质量及含氮量。**【结果】**生姜的茎和叶生长主要集中在前期,根茎膨大期时的茎和叶干物质量分别为 5.4 ~ 9.3 g/plant 和 7.0 ~ 11.6 g/plant;根茎则在后期快速积累,至收获期时根茎干物质量达 20.0 ~ 36.8 g/plant。随施氮量的增加,不同生育期茎和叶的干物质量均随之增加。适宜施氮量内,生姜根茎干物质量和产量表现出随施氮量增加而增加的趋势,以 $N_{450}S_{50}$ 处理最高。相较于 N_0S_0 处理和 N_0S_{50} 处理,不同施氮量处理生姜增产率分别在 33.1% ~ 74.3% 和 25.4% ~ 64.2% 之间。同一施氮量下,增施硫肥处理的生姜干物质量和产量较高。氮硫配施对生姜根茎、茎和叶氮含量有不同影响。各器官中叶的氮含量在不同生育时期均高于根茎和茎,其中以根茎膨大期较高,为 24.3 ~ 28.4 g/kg;而根茎和茎的氮含量均在发棵期较高,分别为 18.3 ~ 24.5 和 16.3 ~ 22.2 g/kg。不同处理中,根茎氮含量在 $N_{600}S_{50}$ 处理中较高,而茎和叶氮含量则是在 $N_{450}S_{50}$ 处理中最高。收获期生姜各器官氮累积量表现为根茎 > 叶 > 茎,其中 $N_{450}S_{50}$ 处理的根茎氮累积量高于其他处理,而茎和叶中则是 $N_{600}S_{50}$ 处理的氮累积量最高。整株氮累积量随施氮量的增加而增加,$N_{450}S_{50}$ 处理最高,较 N_0S_0 处理和 N_0S_{50} 处理分别上升 116.2% 和 99.0%,过量施氮反而降低氮素累积。增施硫肥能提高氮累积量,增加幅度在 8.1% ~ 15.8% 之间。**【结论】**生姜根茎干物质量主要在根茎膨大期积累,实际生产中在这一时期追施氮、钾肥,对于提高生姜根茎生物量,获得高产具有重要作用。氮和硫存在很强的内在联系,适宜施氮量下增施硫肥能够促进同化产物的形成,使养分向生长旺盛部位转移,从而提高生姜干物质积累和产量,促进植株对氮素的吸收。过量施氮或氮硫比例不合理则会导致产量提升受限。

关键词: 生姜; 氮肥; 硫肥; 干物质量; 产量; 氮累积量
中图分类号: S632.5; S606$^+$.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)01-0251-08

Effects of nitrogen application combined with sulfur on the growth and nitrogen uptake of ginger

WU Ping-ping, WANG Jia-jia, LI Lu-jiu*
(*Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences/Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment, Hefei 230031, China*)

Abstract:【Objectives】 Fertilizer application significantly affects the yield and quality of ginger. Rational sulfur addition based on nitrogen application can promote the synthesis and accumulation of dry matter by coordinating the ability of nitrogen metabolism to increase ginger yield. A field experiment was conducted in shajiang black soil to study the effects of nitrogen application combined with sulfur on dry matter accumulation, yield and nitrogen uptake of ginger at different growth stages, in order to provide a theoretical basis for the increase of ginger yield and nutrient uptake. **【Methods】** The treatments consisted of four nitrogen levels: N 0, 300, 450 and 600 kg/ha and

收稿日期: 2014-02-19 **接受日期:** 2014-05-16
基金项目: 安徽省农科院院长青年创新基金项目(12B1020); 公益性行业(农业)科研专项(201003016); "十二五"国家科技计划课题(2012BAD05B0206); 国际植物营养研究所(IPNI)中国项目部平衡施肥项目资助。
作者简介: 吴萍萍(1982—), 女, 安徽贵池人, 博士, 主要从事土壤资源环境方面的研究。E-mail: pingpingwu1982@126.com
* 通信作者 Tel: 0551-65149157, E-mail: ljli68@aliyun.com

two sulfur levels: S 0 and 50 kg/ha. Gingers were sampled in vigorous growth stage, rhizome expanding stage and harvest stage to measure dry matter weight and nitrogen contents of the stems, leaves and rhizomes. 【**Results**】 The stems and leaves of ginger mainly grow at early stage. Dry matter weights of the stems and leaves at rhizome expanding stage are 5.4–9.3 g/plant and 7.0–11.6 g/plant, respectively. The rhizomes quickly accumulate at the later stage, reaching 20.0–36.8 g/plant of dry matter weight at harvest stage. With the increase of nitrogen application amount, dry matter weights of the stems and leaves at different growth stages increase. Among suitable nitrogen application amounts, dry matter weights of rhizomes and ginger yields increase with the increase of nitrogen application amounts, and reach the highest in treatment $N_{450}S_{50}$. Compared with treatment N_0S_0 and N_0S_{50}, yield increasing rate of ginger in nitrogen treatments are 33.1%–74.3% and 25.4%–64.2%, respectively. Under the same application amount of nitrogen, higher dry matter weights and ginger yields are achieved through the addition of sulfur fertilizer. Nitrogen and sulfur combined application influences the nitrogen contents in the rhizomes, stems and leaves of ginger. The nitrogen contents in leaves are always higher than those in rhizomes and stems, reaching 24.3–28.4 g/kg at rhizome expanding stage. The highest nitrogen contents of rhizomes and stems are found at vigorous growth stage, reaching 18.3–24.5 g/kg and 16.3–22.2 g/kg, respectively. In different treatments, nitrogen content of rhizomes is highest in treatment $N_{600}S_{50}$ and the highest contents of stems and leaves are found in treatment $N_{450}S_{50}$. Nitrogen accumulation amount at the harvest stage is in the order of rhizome > leaf > stem. The highest nitrogen accumulation of rhizomes is found in treatment $N_{450}S_{50}$, and those in stems and leaves are found in treatment $N_{600}S_{50}$. Nitrogen accumulation in the whole plant increases with the increase of nitrogen application amount, and the highest is found in treatment $N_{450}S_{50}$ with the increase of 116.2% and 99.0%, compared with treatment N_0S_0 and N_0S_{50}, respectively. Excessive application of nitrogen fertilizer reduces nitrogen accumulation of ginger. The addition of sulfur fertilizer can increase nitrogen accumulation amount by 8.1%–15.8%. 【**Conclusions**】 Rhizome dry matters of ginger are mainly accumulated at rhizome expanding stage, so nitrogen and potassium topdressing at this period is important to increase ginger yield in practice. There is a strong internal relation between nitrogen and sulfur, suitable nitrogen application combined with sulfur will further increase dry matter accumulation, ginger yield and nitrogen uptake by promoting the formation of assimilation products and transferring the nutrient to vigorous growth sites. Excessive nitrogen application or unsuitable nitrogen and sulfur application proportion will limit yield increase.

Key words: ginger; nitrogen fertilizer; sulfur fertilizer; dry matter weight; yield; nitrogen accumulation amount

生姜(*Zingiber Officinale Roscoe*)是一种长期种植和大量食用的蔬菜园艺植物,广泛应用于烹调、食品加工及中药材制剂。我国是世界上生姜产量最大的国家,也是主要出口国之一,年出口量占世界总出口量的40%[1]。生姜的生长期长,产量高,对养分需求量大,每生产1000 kg根茎约需纯N 6.34 kg, P_2O_5 0.57 kg, K_2O 9.27 kg[2]。施肥显著影响生姜的产量及品质。前人对生姜施肥效应进行了相关研究,研究对象多集中在氮、磷、钾肥和有机肥上,其他肥料则涉及较少,其中氮肥施用对生姜产量、品质及养分吸收的影响有较多报道。研究表明,适宜氮肥用量内,生姜生物量及根茎产量随施氮量的增加而提高,过低或过量施氮则有不同程度的降低或增加不显著[2-9]。还有研究指出,随施氮量的增加,幼苗期生姜群体扩展加快,而盛长期过多的氮则不利于生姜生长[4]。

氮肥和硫肥在植物代谢过程中有很强的内在联系,作物对硫的反应往往取决于氮肥的供应量,大量施氮肥会导致硫肥的缺乏,当氮肥供应充足时作物对施硫肥的反应很敏感[10]。硫肥的增产效应在很多作物上有过报道。如彭嘉桂等[11]在莴苣、花椰菜等多种蔬菜上研究发现,增施硫具有不同程度的增产效应。孟赐福等[12]研究表明,土壤有效硫与油菜相对产量间的相关关系达极显著水平。郭亚芬等[13]指出,增施硫肥能使大白菜、菠菜、甜椒、空心菜等多种蔬菜增产4.38%～29.86%。硫参与植物蛋白质的合成,同时硫素代谢关键酶与氮素同化有密切关系,氮和硫同化利用的状况影响植物生长以及产量的形成。可见,合理增施硫肥可通过协调氮代谢的能力、促进物质的合成与积累,从而提高

作物产量。为此,本研究选择柴姜作为供试品种,研究不同氮硫配施比例下生姜在不同生育期的生长发育和产量形成,了解氮硫配施对生姜各器官氮含量及氮素吸收的影响,旨在为提高生姜产量及养分的吸收转运提供理论依据和技术指导。

1　材料与方法

1.1　试验设计

田间试验于 2013 年在安徽省临泉县农科所实验站内进行。生姜在 3 月底催芽,4 月下旬移栽,11 月初收获。供试品种选用当地常见品种柴姜,种植密度为 10.5×10^4 株/hm^2。供试土壤为砂姜黑土,试验前取 0—20 cm 耕层土壤分析基本理化性状,其中 pH 为 6.10,有机质 11.86 g/kg、全氮 1.05 g/kg、碱解氮 63.7 mg/kg、速效磷 15.8 mg/kg、速效钾 137.7 mg/kg、有效硫含量 18.6 mg/kg。

试验设 7 个处理,包括 4 个氮肥水平和 2 个硫肥水平,磷、钾肥施用量各处理相同,具体见表 1。小区面积 20 m^2,重复 3 次,完全随机区组排列。供试肥料分别为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 38%)、磷酸二铵(N 18%、P_2O_5 46%)、氯化钾(K_2O 60%)和硫酸钙(S 18.6%),其中氮肥和钾肥分别在基肥、发棵期和根茎膨大期施入,磷肥和硫肥在基肥时一次性施入。田间管理措施按当地常规操作。

表 1　2013 年生姜试验各处理肥料施用量(kg/hm^2)

Table 1　Fertilizer application amounts in different treatments of ginger experiment in 2013

处理 Treatment	N	S	P_2O_5	K_2O
N_0S_0	0	0	90	300
N_0S_{50}	0	50	90	300
$N_{300}S_0$	300	0	90	300
$N_{300}S_{50}$	300	50	90	300
$N_{450}S_0$	450	0	90	300
$N_{450}S_{50}$	450	50	90	300
$N_{600}S_{50}$	600	50	90	300

1.2　测定项目及方法

在生姜移栽后的 100、135 和 175 d(即发棵期、根茎膨大期和收获期)取样,每小区每次取有代表性植株 5 株,清洗后分别测定茎、叶及根茎等器官鲜重和干重,在 105℃ 杀酶,85℃ 下烘干磨碎,测定生姜各器官的全氮含量。生姜收获时,按小区测产(鲜重)。

土壤和植株的测定采用常规分析方法[14],土壤有机质采用重铬酸钾容量法,全氮用开氏法,碱解氮用碱解扩散法,速效磷用钼锑抗比色法,速效钾用火焰光度法测定,比浊法测定硫含量。生姜植株茎、叶和根茎样品加 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮至澄清,用开氏定氮法测定全氮含量。

1.3　数据处理

利用 Excel 软件进行数据统计和作图;采用 SPSS 统计软件进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　氮硫配施对生姜干物质积累和产量的影响

生姜不同生育期干物质量存在明显差异(表 2)。发棵期各器官生长量较小,根茎、茎和叶的干物质量分别在 1.5～3.4、2.0～4.0 和 2.9～5.6 g/plant 之间。进入根茎膨大期后,各器官迅速生长,尤其是根茎,较发棵期分别增加 311.6%～360.4%,这一时期的根茎干物质量占整个生育期的 34.2%～42.2%,生长速率逐渐增加,至收获期时根茎干物质量达 20.0～36.8 g/plant,远高于前两个时期。而茎和叶的生长则在后期开始放缓,根茎膨大期和收获期茎和叶的干物质量间差异较小,增幅分别为 10.2%～15.9% 和 1.5%～12.3%。可见生姜茎和叶的生长主要集中在前期,而根茎则在后期快速积累。

表 2 还表明,施氮处理生姜不同生育期干物质积累量均显著高于对照。不同氮硫配施比例下,随施氮量的增加,不同生育期各器官干物质量均随之增加。以收获期为例,施氮处理根茎、茎和叶较 N_0S_0 处理分别提高 31.4%～84.1%、22.4%～82.5% 和 18.5%～75.6%。其中根茎干物质量以 $N_{450}S_{50}$ 处理最高,发棵期、根茎膨大期和收获期较 $N_{600}S_{50}$ 处理分别高 15.8%、28.1% 和 19.7%;而茎和叶则在 $N_{600}S_{50}$ 处理中最高,相比 $N_{450}S_{50}$ 处理增幅分别在 12.9%～19.0% 和 13.0%～17.0% 之间。同一施氮量下,增施硫肥处理的生姜干物质量较高。4 种施氮水平下,不同生育期增施硫肥处理的根茎、茎和叶干物质量较不施硫肥处理分别提高 1.5%～20.9%、4.3%～17.6% 和 2.3%～10.9%,增加幅度小于氮肥施用。

适宜施氮量内,生姜产量表现出随施氮量增加而增加的趋势(表 2),$N_{450}S_{50}$ 处理的产量最高,与

$N_{600}S_{50}$处理差异显著。相较于 N_0S_0 处理和 N_0S_{50}处理,不同施氮量处理增产率分别在33.1%～74.3%和25.4%～64.2%之间。同一施氮量下,增施硫肥处理的产量略高于不施硫肥处理,增产率在2.1%～11.8%之间,差异均未达5%显著水平。

2.2 氮硫配施对生姜氮含量的影响

生姜不同生育期根茎、茎和叶氮含量间存在明显差异(表3)。各器官中叶的氮含量在不同生育时期均是最高,其中又以根茎膨大期较高,为24.3～28.4 g/kg,其次是发棵期和收获期,分别在23.2～26.8和22.1～26.7 g/kg之间,表现出先增长后降低的趋势。根茎和茎的氮含量均在发棵期较高,分别为18.3～24.5和16.3～22.2 g/kg,随生姜植株生长的进行两者逐渐降低,尤其是根茎,收获期氮含量较发棵期下降33.0%～41.2%,茎氮含量在整个生育期中变化较小,收获期氮含量较发棵期下降27.4%～36.1%,呈现缓慢下降趋势。

从表3还可看出,不同氮硫配施比例对生姜根茎、茎和叶氮含量有不同影响。随施氮量的增加,各生育期根茎、茎和叶的氮含量均有不同程度的提高。根茎氮含量在 $N_{600}S_{50}$处理中最高,发棵期、根茎膨大期和收获期较 N_0S_0 处理分别提高33.6%、30.8%和44.0%;而茎和叶则以 $N_{450}S_{50}$处理较高,不同生育期较 N_0S_0 处理增幅分别在19.9%～36.3%和15.8%～20.8%之间。同一施氮量下,施硫处理各器官的氮含量均高于不施硫处理,其中施氮量为450 kg/hm^2 时施硫的增幅高于300 kg/hm^{2}和0 kg/hm^2。相比 $N_{450}S_0$ 处理,$N_{450}S_{50}$处理不同生育期根茎、茎和叶氮含量的增加幅度分别在2.1%～4.5%、3.4%～11.3%和1.2%～4.7%之间。

2.3 氮硫配施对收获期生姜氮素吸收的影响

各处理收获期生姜不同器官氮累积量均表现为根茎>叶>茎(表4),氮素养分主要积累在根茎中,占整株氮累积量的48.0%～54.9%;其次是叶,为31.6%～36.4%,茎中累积的氮素最少,在13.5%～16.2%之间。

表4表明,随施氮量的增加,收获期生姜根茎、茎和叶的氮累积量均随之增加。与对照 N_0S_0 处理相比,施氮处理的整株氮累积量增加幅度在43.2%～116.2%之间。不同施氮水平下,$N_{450}S_{50}$处理的整株氮累积量最高,达102.0 kg/hm^2,较 N_0S_0 处理和 N_0S_{50}处理分别提高116.2%和99.0%;其次是 $N_{600}S_{50}$处理,较 N_0S_0 处理和 N_0S_{50}处理分别增加111.7%和94.8%。生姜各器官中,根茎氮累积量以 $N_{450}S_{50}$处理较高,而茎和叶中则是 $N_{600}S_{50}$处理的氮累积量最高。同一施氮量下,增施硫肥能不同程度地提高生姜植株氮素累积量。施氮量在0、300和450 kg/hm^2 时,施硫处理的整株氮累积量较不施硫处理增加幅度分别为8.6%、8.1%和15.8%。施氮处理的氮肥利用率在6.8%～11.2%之间,其中 $N_{450}S_{50}$处理最高,其次是 $N_{450}S_0$ 处理。同一施氮量下,施硫处理的氮肥利用率均高于不施硫处理。

3 讨论

3.1 氮硫配施对生姜干物质积累和产量的影响

生姜在进入根茎膨大期后生长迅速,尤其是根茎的发育主要集中在这一时期至收获期,而茎和叶则在发棵期快速生长,至根茎膨大期生长速率减缓。王馨笙等[5]研究也表明,生姜茎和叶的生长量在发棵期分别达70.1%和62.1%,而根茎在膨大期积累的干物质量为76.8%。可见,生姜根茎干物质量主要在根茎膨大期积累,因此实际生产中在这一时期追施氮、钾肥,对于促进同化产物向地下根茎运输,提高生姜根茎生物量,获得高产具有重要作用。

本研究结果表明,不同生育期生姜根茎、茎和叶干物质量随施氮量的增加而增加,生姜产量与氮素吸收密切相关。增施硫肥对生姜植株生长和产量也有促进作用,氮硫配施处理不同生育期的根茎、茎和叶干物质量均高于同一施氮量下不施硫处理,这与以往在其他作物上的报道结果一致。如朱云集等[15]对小麦的研究发现,氮硫互作对籽粒产量的影响达到显著水平,硫对籽粒产量的影响达到极显著水平。孔灵君等[16]在大葱上的研究结果表明,氮、硫均能促进植株生长,氮硫配施的互作效应极为显著,且以氮的增产效果较大。刘存辉等[17]研究指出,随着硫肥用量的增加,玉米植株的干物质积累量和产量增加。增施硫肥可通过协调氮代谢能力、促进物质的合成与积累而提高作物产量,尤其是在高氮条件下[15]。在施氮的基础上增施硫,尤其在缺硫土壤上,能促进营养器官贮藏的氮向籽粒转运,提高植株碳物质的积累[18];另一方面,硫的使用能促进植株对氮、磷、钾等矿质元素的吸收利用[17],有利于同化产物的形成,从而增加产量。氮硫配施比例对生姜植株的生长也有影响。本研究中,$N_{450}S_{50}$处理的产量最高,高于施氮量较高的 $N_{600}S_{50}$处理,可见,过量施氮或氮硫比例不合理会导致产量提升受限。

表 2　氮硫配施生姜不同生育期干物质量(g/plant)和产量(kg/hm^2)

Table 2　Dry matter accumulation of ginger at different growth stages under different treatments

处理 Treatment	发棵期 Vigorous growth stage			根茎膨大期 Rhizome expanding stage			收获期 Harvest stage			产量 Yield
	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	
N_0S_0	1.5 ±0.2 d	2.0 ±0.4 b	2.9 ±0.4 b	6.9 ±0.9 c	5.4 ±0.4 e	7.0 ±0.3 d	20.0 ±0.6 d	5.9 ±0.5 c	7.4 ±0.9 d	7883 ±202 c
N_0S_{50}	1.7 ±0.2 d	2.3 ±0.5 b	3.0 ±0.6 b	7.5 ±0.2 c	5.8 ±0.3 de	7.4 ±0.3 d	21.8 ±0.9 d	6.4 ±0.7 c	7.4 ±1.1 d	8367 ±231 c
$N_{300}S_0$	2.4 ±0.4 c	2.8 ±0.96 ab	3.9 ±0.9 ab	10.6 ±1.6 b	6.6 ±0.1 d	8.1 ±0.2 cd	26.3 ±2.4 d	7.2 ±0.2 bc	8.8 ±0.3 cd	10492 ±120 5b
$N_{300}S_{50}$	2.5 ±0.4 bc	3.1 ±0.9 ab	4.1 ±1.1 ab	10.8 ±1.6 b	7.0 ±0.4 cd	8.5 ±0.4 cd	27.1 ±3.8 bc	7.9 ±0.5 bc	9.3 ±1.1 bcd	10708 ±1214 b
$N_{450}S_0$	3.1 ±0.2 a	3.1 ±0.7 ab	4.3 ±1.1 ab	12.8 ±1.1 b	7.9 ±0.5 bc	9.6 ±1.4 bc	31.4 ±2.8 b	8.9 ±0.8 ab	10.5 ±1.3 bc	12288 ±1134 ab
$N_{450}S_{50}$	3.4 ±0.2 a	3.3 ±0.9 ab	4.8 ±1.3 ab	15.5 ±2.3 a	8.3 ±1.1 ab	10.2 ±1.3 ab	36.8 ±2.4 a	9.3 ±1.7 ab	11.5 ±1.6 ab	13738 ±1123 a
$N_{600}S_{50}$	2.9 ±0.8 ab	4.0 ±1.3 a	5.6 ±1.4 a	12.1 ±1.8 b	9.3 ±1.0 a	11.6 ±1.3 a	30.8 ±1.6 b	10.8 ±2.1 a	13.0 ±2.1 a	11692 ±951 b

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different among treatments at 5% level.

表 3　氮硫配施生姜不同生育期氮含量(g/kg)

Table 3　Nitrogen content of ginger at different growth stages under different treatments

处理 Treatment	发棵期 Vigorous growth stage			根茎膨大期 Rhizome expanding stage			收获期 Harvest stage		
	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf
N_0S_0	18.3 ±1.3 c	16.3 ±0.5 e	23.2 ±1.9 b	12.0 ±1.4 d	14.0 ±1.1 c	24.3 ±1.8 b	10.8 ±0.5 c	11.8 ±0.4 f	22.1 ±0.0 d
N_0S_{50}	18.6 ±0.3 c	17.2 ±0.7 de	23.5 ±1.8 ab	12.6 ±1.0 cd	14.4 ±0.8 bc	25.0 ±0.7 b	11.2 ±0.7 c	12.2 ±0.1 ef	22.3 ±0.2 d
$N_{300}S_0$	19.8 ±1.6 bc	18.0 ±0.3 cde	24.2 ±1.1 ab	13.3 ±0.8 bcd	15.1 ±0.4 bc	26.8 ±1.1 a	13.2 ±0.8 b	12.7 ±0.2 de	23.7 ±0.6 cd
$N_{300}S_{50}$	20.3 ±1.7 bc	18.4 ±0.1 bcd	24.5 ±1.1 ab	13.6 ±0.4 bcd	15.2 ±0.3 bc	27.1 ±1.0 a	13.6 ±0.7 b	13.0 ±0.2 cd	24.2 ±0.8 bc
$N_{450}S_0$	21.6 ±1.8 b	20.0 ±1.3 b	25.6 ±1.5 ab	14.0 ±0.0 bc	16.0 ±0.4 ab	28.1 ±0.5 a	14.3 ±1.2 ab	13.7 ±0.4 bc	25.6 ±1.6 ab
$N_{450}S_{50}$	22.2 ±1.4 ab	22.2 ±1.8 a	26.8 ±0.5 a	14.6 ±0.5 ab	17.4 ±1.9 a	28.4 ±0.6 a	14.5 ±1.2 ab	14.2 ±0.4 ab	26.7 ±0.9 a
$N_{600}S_{50}$	24.5 ±1.2 a	19.2 ±1.1 bc	25.3 ±1.1 ab	15.7 ±1.2 a	15.7 ±0.6 abc	27.7 ±0.6 a	15.5 ±0.7 a	13.3 ±0.3 a	25.4 ±0.7 ab

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different among treatments at 5% level.

表4 氮硫配施收获期生姜不同部位氮素累积及氮肥利用率

Table 4 N accumulation in different parts of ginger and N use efficiency under different treatments at harvest stage

处理 Treatment	根茎 Rhizome		茎 Stem		叶 Leaf		整株氮累积量 N accumulation in whole plant (kg/hm^2)	氮肥利用率 N use efficiency (%)
	氮累积量 N accumulation (kg/hm^2)	百分比 Percentage (%)	氮累积量 N accumulation (kg/hm^2)	百分比 Percentage (%)	氮累积量 N accumulation (kg/hm^2)	百分比 Percentage (%)		
N_0S_0	22.7 ± 1.8 d	48.0	7.4 ± 0.9 d	15.6	17.1 ± 2.1 c	36.4	47.2 ± 3.0 c	
N_0S_{50}	25.7 ± 2.6 d	50.1	8.3 ± 0.9 cd	16.2	17.3 ± 2.7 c	33.7	51.2 ± 3.6 c	
$N_{300}S_0$	36.2 ± 1.6 c	53.6	9.6 ± 0.1 cd	14.2	21.7 ± 0.4 bc	32.2	67.5 ± 1.9 b	6.8
$N_{300}S_{50}$	38.6 ± 4.8 c	52.9	10.9 ± 0.8 bc	14.8	23.6 ± 3.2 bc	32.3	73.0 ± 8.0 b	7.1
$N_{450}S_0$	46.9 ± 6.0 b	53.3	12.8 ± 0.9 ab	14.5	28.3 ± 5.1 ab	32.2	88.1 ± 11.8 a	9.1
$N_{450}S_{50}$	56.0 ± 1.5 a	54.9	13.8 ± 2.2 a	13.5	32.2 ± 4.6 a	31.6	102.0 ± 8.2 a	11.2
$N_{600}S_{50}$	50.1 ± 2.2 b	50.2	15.1 ± 3.0 a	15.1	34.7 ± 6.6 a	34.7	99.8 ± 11.5 a	8.0

注(Note):同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different among treatments at 5% level.

Zhang 等[19]研究指出,相同施硫量下,过量施用氮肥会限制小麦产量的提高。李录久等[6]认为,在一定氮肥用量范围内,生姜根茎产量随施氮量的增加而提高,超过此范围则增加不显著甚至降低,生姜适宜施氮量与土壤肥力、试验条件等有关。本研究中施硫量只有0和50 kg/hm^2两种水平,三种施氮量下增施硫肥都表现出增产效应,但这并不意味着施硫量越高产量越高。McCallum 等[20]研究发现,田间栽培条件下,由于土壤本身含有一定的氮和硫,因此氮和硫的交互作用对洋葱的产量没有影响,这可能与供试土壤有效含硫量较高有关。马春英等[21]报道指出,不同施硫量水平下,小麦产量随施硫量的增加而提高,且以中硫水平的产量最高。

3.2 氮硫配施对生姜氮素吸收的影响

氮肥施用对生姜氮含量及氮素吸收均有明显影响,但不同器官表现出不同规律。根茎中氮含量随施氮量的增加而增加,而茎和叶中氮含量在$N_{450}S_{50}$处理中最高,高于施氮量较高的$N_{600}S_{50}$处理,这可能是由于过量施氮促进生姜地上部茎叶的生长,使得茎叶生物量较高而产生"稀释效应"[6]。从收获期整株氮累积量来看,施氮量为450 kg/hm^2时最高,其次是600 kg/hm^2,高于300 kg/hm^2和不施氮,可见适量施氮有利于氮素养分在生姜植株内的积累和利用,施氮不足或过量施氮会降低氮素吸收。

增施适量的硫可提高生姜植株氮含量及氮素吸收累积。氮和硫都是合成蛋白质和氨基酸的必需成分,两者的代谢紧密相关。植物体内有机硫与总氮量的比值基本稳定,植株按照一定的比例吸收氮和硫用于代谢的需要,因此硫素缺乏会限制氮素有效利用,减少植株对其他营养元素的吸收,而适宜的氮硫肥施用比例则能提高蛋白质含量,改变其组成,有利于作物养分积累和品质改善,提高肥料的利用效率。李金凤等[22]对大豆的研究表明,氮吸收量受硫供应水平的影响。沈学善等[23]研究发现,施硫处理明显提高小麦籽粒氮素的积累转运量。刘勤等[24]指出,烟草叶片中全氮和全硫含量间呈显著正相关。但也有不同报道,如有研究表明,施硫可以增加烟草前期各部位的氮含量,但施硫过多则降低烟草的氮含量[25],这可能与氮硫施用比例有关。孙羽等[26]也指出,收获时期大豆籽粒全氮含量随施硫量的增加而降低。Coolong 和 Randle[27]发现,氮和硫相互作用影响洋葱对其他营养元素的吸收,高氮供应会降低硫的吸收。Blake-Kalff 等[28]认为,氮素的增加使植株的净生长率增大,提高了对硫素的需求,降低了无机硫的含量,从而增大植株硫缺乏的可能,转而使得植株的生长受到抑制,氮利用率下降。此外,氮肥施用时期也影响生姜对氮素的吸收利用,以生姜生长中期追肥利用率最高,而基肥的利用率最低[29]。因此,在生姜的实际生产中应综合考虑氮硫肥的施用比例及时期,根据土壤养分状况和生姜品种等条件确定适宜的氮硫比例,在发棵期和根茎膨大期追施氮肥,同时保证磷、钾肥的供应,促进生姜根茎的生长及对养分的吸收利用。

本研究不同施氮水平下生姜整株氮累积量为

47.2～102.0 kg/hm^2,相较于其他研究结果较低,如李录久等[6]在临泉县的结果在 147.9～269.8 kg/hm^2 之间。这可能与 2013 年试验地遭遇长时间干旱有关,使得生姜植株生长受限,同时养分转运也受到影响,这一点从较低的氮肥利用率也可看出。梁太波等[7]报道生姜对氮肥的利用率在 23.3%～35.9%之间,李录久等[6]的研究结果为 6.8%～30.1%,均高于本研究结果,原因可能在于,一方面生姜根系较浅,存在吸肥能力较弱,根茎膨大期易木质化等现象;另一方面与生姜品种和试验地当年环境气候等因素有关,使得不同报道间生姜对氮素的吸收差异较大。

4　结论

1)在适宜施氮量范围内,随施氮量的增加,不同生育期根茎、茎和叶的干物质量和产量均随之增加,过量施氮则会降低根茎生物量和产量。同一施氮量下,增施硫肥能提高生姜各器官的干物质量和产量。

2)不同氮硫配施比例对生姜根茎、茎和叶氮含量有一定影响,根茎氮含量在 $N_{600}S_{50}$ 处理中较高,而茎和叶氮含量则是在 $N_{450}S_{50}$ 处理中最高。收获期生姜各器官吸氮量表现为根茎 > 叶 > 茎,整株氮累积量随氮、硫施用量的增加而增加,$N_{450}S_{50}$ 处理最高,过量施氮的 $N_{600}S_{50}$ 处理反而降低生姜对氮素的吸收和利用。

参 考 文 献:

[1] 郭英华, 张振贤, 关秋竹. 姜的研究进展[J]. 长江蔬菜, 2005, (9): 38-42.
Guo Y H, Zhang Z X, Guan Q Z. Research progress of ginger (*Zingiber officinale Rosc.*) [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2005, (9): 38-42.

[2] 徐坤, 康立美, 赵德婉. 生姜对氮磷钾吸收分配规律的研究[J]. 山东农业科学, 1992, (3): 14-16.
Xu K, Kang L M, Zhao D W. Uptake and distribution of NPK by ginger plants[J]. Shangdong Agricultural Sciences, 1992, (3): 14-16.

[3] 艾希珍, 赵德婉, 曲静然, 等. 施肥水平对生姜生长及产量的影响[J]. 中国蔬菜, 1997, (1): 18-21.
Ai X Z, Zhao D W, Qu J R *et al*. Effect of fertilizers on growth and yield of ginger[J]. China Vegetables, 1997, (1): 18-21.

[4] 徐坤, 郑国生, 王秀峰. 施氮量对生姜群体光合特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 189-193.
Xu K, Zhen G S, Wang X F. Effects of nitrogen rates on colonial photosynthesis, yield and qualities of ginger[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 189-193.

[5] 王馨笙, 徐坤, 杨天慧. 生姜对氮、磷、钾吸收分配规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1515-1520.
Wang X S, Xu K, Yang T H. Absorption and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in ginger[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1515-1520.

[6] 李录久, 刘荣乐, 陈防, 等. 不同氮水平对生姜产量和品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 382-388.
Li L J, Liu R L, Chen F *et al*. Effect of different N application rates on yield, qualities and N uptake of ginger [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 382-388.

[7] 梁太波, 王振林, 刘兰兰, 等. 腐植酸尿素对生姜产量及氮素吸收、同化和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 903-909.
Liang T B, Wang Z L, Liu L L *et al*. Effects of humic acid urea on yield and nitrogen absorption assimilation and quality of ginger [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(5): 903-909.

[8] 张玉霞, 张国平, 钟攀, 等. 不同肥料组合对生姜产量和品质的影响[J]. 土壤, 2007, 39(6): 973-977.
Zhang Y X, Zhang G P, Zhong P, *et al*. Effect of different fertilizer combinations on yield and quality of ginger[J]. Soils, 2007, 39(6): 973-977.

[9] 李录久, 金继运, 陈防, 等. 钾、氮配施对生姜产量和品质及钾素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 643-648.
Li L J, Jin J Y, Chen F *et al*. Effect of combined K and N application on yield, qualities and K absorption of ginger[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(3): 643-648.

[10] McGrath S P, Zhao F J, Withers P J A. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment [A]. Proceedings of Fertilizer Society [M]. Petersborough: The Fertilizer Society, 1996. 379.

[11] 彭嘉桂, 杨杰, 林琼, 等. 硫对蔬菜的增产及降低 NO_3^- 累积效应研究[J]. 福建农业学报, 2004, 19(3): 160-163.
Peng J G, Yang J, Lin Q *et al*. Effect of sulfur fertilizer on increasing vegetable yield and decreasing accumulation of NO_3^- [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2004, 19(3): 160-163.

[12] 孟赐福, 吕晓男, 曹志洪, 等. 水稻和油菜施硫的增产效应及土壤有效硫临界指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 218-220.
Meng C F, Lü X N, Cao Z H *et al*. Effect of fulfur fertilizer on the yields of rice and oil rape and the critical values of soil available sulfur [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(2): 218-220.

[13] 郭亚芬, 张忠学, 栾非时, 等. 硫对蔬菜产量与品质的效应(I)[J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(1): 23-26.
Guo Y F, Zhang Z X, Luan F S *et al*. Sulpher on yields and qualities of vegetables [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1999, 30(1): 23-26.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 12.
Bao S D. Analysis of soil agricultural chemistry (3rd edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 12.

[15] 朱云集, 李国强, 郭天财, 等. 硫对不同氮水平下小麦旗叶氮硫同化关键酶活性及产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1116-1121.
Zhu Y J, Li G Q, Guo T C *et al*. Effects of sulfur on key enzyme activities involved in nitrogen and sulphur assimilation in flag leaves and grain yield under different nitrogen levels in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1116-1121.

[16] 孔灵君, 徐坤, 王磊, 等. 氮硫互作对越冬大葱生长及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1272-1278.
Kong L J, Xu K, Wang L *et al*. Influence of nitrogen and sulfur interaction on growth and quality of Chinese spring onion [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(5): 1272-1278.

[17] 刘存辉, 董树亭, 胡昌浩. 硫素营养对高产夏玉米施用效应的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(1): 11-16.
Liu C H, Dong S T, Hu C H. Effects of sulfur application in high yield summer maize[J]. Journal of Shangdong Agricultural University (Natural Science Edition), 2001, 32(1): 11-16.

[18] 祝小捷, 朱云集, 郭天财, 等. 不同氮素水平下施硫对高产小麦碳氮运转和产量的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(9): 1820-1825.
Zhu X J, Zhu Y J, Guo T C *et al*. Effect of sulfur application on carbon and nitrogen transport and grain yield of high yield wheat cultivars in different nitrogen fertilizer levels[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(9): 1820-1825.

[19] Zhang F J, Hawkesford H J, Warrilow A G S *et al*. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency[J]. Plant and Soil, 1996, 181: 317-327.

[20] McCallum J, Noel P, Bruce S *et al*. Sulfur and nitrogen fertility affects flavour of field-grown onions[J]. Plant and Soil, 2005, 269: 151-158.

[21] 马春英, 李雁鸣, 韩金玲. 不同施硫量对冬小麦光合特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 211-217.
Ma C Y, Li Y M, Han J L. Effects of different dose of sulfur fertilizer on photosynthetic characteristics and grain yield in winter wheat[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2005, 11(2): 211-217.

[22] 李金凤, 张玉龙, 汪景宽. 硫对大豆生长发育及生理效应影响的研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 612-615.
Li J F, Zhang Y L, Wang J K. Study on the effect of sulfur on the growth and physiology of soybean[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(5): 612-615.

[23] 沈学善, 朱云集, 李国强, 等. 施硫对不同筋力型品种小麦碳氮运转和产量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 134-136, 140.
Shen X S, Zhu Y J, Li G Q *et al*. Effects of sulphur application on carbon and nitrogen assimilate translocation and grain yield of winter wheat cultivars with different gluten[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 134-136, 140.

[24] 刘勤, 赖辉比, 曹志洪. 不同供硫水平下烟草硫营养及对 N、P、Cl 等元素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 63-68.
Liu Q, Lai H B, Cao Z H. Effect of sulphate rates supplied on sulphur metabolism and N, P, and Cl absorption in tobacco[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 63-68.

[25] 马友华, 丁瑞兴, 张继榛, 等. 硒和硫相互作用对烟草氮吸收和积累的影响[J]. 安徽农业大学学报, 1999, 26(1): 95-100.
Ma Y H, Ding R X, Zhang J Z *et al*. Effect of interaction of selenium and sulfur on uptake and accumulation of N in tobacco [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 1999, 26(1): 95-100.

[26] 孙羽, 刘丽君, 祖伟, 等. 硫素营养对大豆氮素积累及品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(4): 389-394.
Sun Y, Liu L J, Zu W, *et al*. Effects of sulfur on nitrogen accumulation and quality of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(4): 389-394.

[27] Coolong T W, Randle W M. Sulfur and nitrogen availability interact to affect the flavor biosynthetic pathway in onion[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2003, 128: 776-783.

[28] Blake-Kalff M A, Harriso K R, Hawkesford M J. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth[J]. Plant Physiology, 1998, 118: 1337-1344.

[29] 徐坤, 赵德婉, 蒋先明. 应用^{15}N 示踪研究生姜吸氮规律[J]. 园艺学报, 1993, 20(2): 161-165.
Xu K, Zhao D W, Jiang X M. Studies on the nitrogen absorption rule in ginger by using isotope ^{15}N[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1993, 20(2): 161-165.