

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20268

氮钾配施对甘薯茎叶生长、产量形成及干物质分配的影响

孙哲¹, 田昌庚¹, 陈路路¹, 王红霞², 郑建利¹, 赵丰玲¹

(1. 泰安市农业科学研究院, 山东 泰安 271000;

2. 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所, 上海 200032)

摘要: 研究氮钾配施对甘薯生长发育、产量形成及干物质分配的影响, 为甘薯安全高效施肥提供理论依据。以鲜食型甘薯品种“泰薯14”为材料, 设置不同氮钾肥配比, 探讨不同氮钾肥配比对甘薯茎叶生长、产量及其形成、干物质积累与分配等指标的影响。结果表明: 氮、钾用量分别为 9、18 g/m² (N1K1) 处理能够显著增加甘薯单株结薯数和单薯重, 提高甘薯块根膨大速率, 从而提高甘薯块根产量。施钾处理 K1 甘薯块根产量、块根膨大速率、商品薯率、单株结薯数和单薯重均高于单施氮肥处理, N1K1 处理甘薯产量、单株结薯数和单薯重最高, 氮钾肥配施可以缓解甘薯茎叶旺长的趋势, 降低甘薯茎叶与块根重量比值, 提高干物质向块根的分配, N1K1 处理效果最显著。本试验 N1K1 处理为最佳氮钾肥配比, 能够促进甘薯地上部与地下部协调生长, 促进甘薯快速膨大, 提高甘薯块根产量。

关键词: 甘薯; 氮钾配施; 茎叶生长; 产量; 干物质

甘薯 (*Ipomoea batatas* Lam.) 是世界上第 5 大粮食能源供应植物, 也是中国重要的粮食、饲料、能源兼用作物。中国是世界上最大的甘薯生产国, 种植面积占全世界的 45.1%, 产量为全世界的 75.3%^[1]。甘薯富含人体需要的各种营养物质, 以其优良的口感和特殊的保健作用逐渐走上人们的餐桌。近年来, 随着保护地甘薯种植面积不断扩大, 为提高甘薯产量, 人们盲目增施肥料, 尤其是氮肥用量过多, 造成甘薯茎叶徒长, 产量品质下降, 肥料利用率低等问题^[2-3]。甘薯生产上一般通过喷施烯效唑等植物生长调节剂控制茎叶旺长的问题, 对甘薯的安全生产存在较大的隐患, 探讨合理的氮钾肥配施是解决这一难题既安全又有效的途径。因此, 甘薯氮钾肥配施的研究对提高甘薯产量、改善甘薯品质、提高生产效率及保护生态安全具有重要的理论和实践意义。

在一定范围内, 增施氮肥对促进甘薯库源关

系建立、发展具有重要作用^[4-5]。氮能够增强甘薯的光合作用、加速有机物的转化和养分的积累^[6], 具有提高甘薯茎叶生物量、叶面积指数的作用, 而且氮肥可提高叶片叶绿素含量和光合速率^[7], 可有效地提高单薯重和薯块产量^[8], 但施用氮肥过量时将导致甘薯产量降低^[9]。甘薯是典型的喜钾作物, 增施钾肥能够提高甘薯功能叶片的叶绿素含量和光合势, 增加块根三磷酸腺苷、脱落酸含量^[10], 提高块根淀粉含量, 促进碳水化合物由叶片向块根运输; 也提高碳同化物在块根中的分配比例, 促进块根迅速膨大, 增加块根产量等^[11-12]; 同时还可以缓解因氮素过高而引起的甘薯茎叶旺长问题。氮钾配施在甘薯上的应用研究报道有限, 主要集中在甘薯氮钾积累分配及其与产量的关系、块根品质的提高等方面^[13-14], 氮钾配施对提高甘薯茎叶和块根协调生长的研究鲜有报道。因此, 本研究设置氮钾肥配施试验, 研究不同氮钾肥配施对甘薯茎叶生长、干物质积累以及产量形成的影响, 以期对甘薯的高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

甘薯品种选用“泰薯14”作为供试材料, 所用肥料为尿素 (N 46.0%)、过磷酸钙 (P₂O₅)

收稿日期: 2020-05-12; 录用日期: 2020-06-04

基金项目: 山东省重点研发科技扶贫 (公益类科技攻关) 项目 (2019GNC20918); 山东省薯类产业创新团队泰安综合试验站 (SDAIT-16-18); 泰安市农业良种工程项目“优质耐贮藏鲜食型甘薯新品种的选育及利用”。

作者简介: 孙哲 (1983-), 男, 山东宁阳人, 农艺师, 博士, 主要从事甘薯育种及高产栽培技术研究。E-mail: sunxz_8311@163.com。

16.0%)、硫酸钾 (K_2O 50.0%)。

1.2 试验设计

试验于2018年6~10月在泰安市农业科学研究院试验基地 ($36^{\circ}20'N$, $117^{\circ}18'E$) 进行, 属温带大陆性半湿润季风气候, 四季分明。多年平均气温 $12.9^{\circ}C$, 降水量 1106 mm, 日照时数 2627.1 h。土壤类型为棕壤, 质地为壤土, 土壤有机质 1.6 g/kg , 碱解氮 73.4 mg/kg , 有效磷 18.61 mg/kg , 速效钾 81.22 mg/kg , pH 值 6.87。

采用随机区组设计, 主区为氮肥处理, 设3个水平, 副区为钾肥处理, 设2个水平; 氮、钾用量见表1, 磷肥 (P_2O_5) 施用量 9.0 g/m^2 , 所有肥料均基施。小区面积 20 m^2 ($4\text{ m} \times 5\text{ m}$), 行距 80 cm, 株距 25 cm, 行长 5 m, 5 行区, 3 次重复。

表1 试验处理

钾肥施用量 (g/m^2)	氮肥施用量 (g/m^2)		
	0 (N0)	9 (N1)	18 (N2)
0 (K0)	N0K0	N1K0	N2K0
18 (K1)	N0K1	N1K1	N2K1

1.3 取样方法

甘薯栽植后 10 d 内为缓苗期, 甘薯生长 40 d

开始观察和记录, 此后每隔 20 d 选取生长正常且长势一致的植株 3 株, 测定块根产量, 计算块根膨大速率; 室内调查蔓长、基部茎粗、单株分枝数, 打孔法测定叶面积, 计算叶面积系数。

收获期将测产区内的块根全部挖出, 数出每个小区的块根数量, 然后以小区为单位称块根重量, 计算平均单株结薯数和块根重。按薯块大小进行分级称重, $>500\text{ g}$ 为大薯, $200 \sim 500\text{ g}$ 为中薯, $<200\text{ g}$ 为小薯, $>200\text{ g}$ 为商品薯, 计算商品薯率。将植株按块根、茎、叶和叶柄 4 部分分样, 对 4 部分分别称量鲜重 (洗净、晾干), 然后将茎切段、块根切片连同叶和柄一起, 并分别在 $60^{\circ}C$ 下烘干称重, 测定块根干重和地上部干重。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 作图, DPS 7.05 软件进行数据处理, LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 氮钾配施对甘薯茎叶生长的影响

由图 1 可以看出, 氮肥能显著促进甘薯茎叶生长。在同一施钾水平下, 甘薯茎叶生长指标随氮肥用量的增加而不断增大, 蔓长、单株分枝数、茎粗

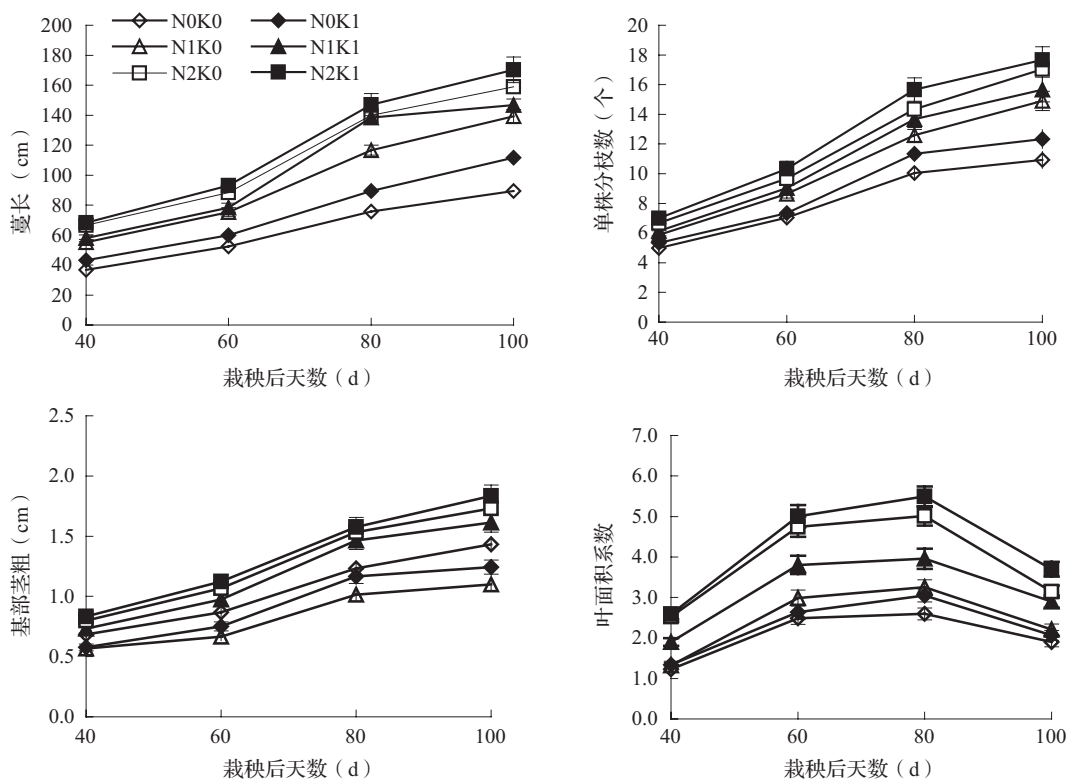


图1 不同氮钾处理对甘薯茎叶生长的影响

和叶面积系数均为 N2 处理最大。增施钾肥也可以促进茎叶生长,同一施氮水平下, K1 处理甘薯茎叶生长指标均高于 K0。基部茎粗 N0K1 高于 N1K0 外, N2K0、N1K0 处理茎叶生长指标均高于 N0K1, N1K1 处理茎叶生长指标高于 N0K1 和 N1K0, 低于 N2K0 和 N2K1。说明增施氮肥对促进甘薯茎叶生长的作用更加显著, 合理氮钾配施 N1K1 处理能够促进茎叶生长指标在更加合理的范围。

2.2 氮钾配施对甘薯产量及其构成因素的影响

由表 2 可以看出, 适量增施氮、钾肥均可以显著提高甘薯块根产量及其构成因素。在同一施钾水平下, 随氮肥用量的增加甘薯产量及其构成因素均表现为先升高后降低的趋势, N1 水平甘薯产量、单株结薯数和单薯重均最高。在 K0 处理下, N2>N0, 在 K1 处理下, N0>N2。在同一施氮水平下, 甘薯产量、单株结薯数和单薯重均表现为 K1>K0。单施钾肥甘薯产量、单株结薯数和单薯重均高于单施氮肥, 两者均低于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理甘薯产量、单株结薯数和单薯重均为最高, 说明合理氮钾配施更有利于甘薯块根增产。

表 2 产量及其构成要素

处理	结薯数	单薯重 (g)	产量 (kg/hm ²)
N0K0	2.59c	190.94c	24655.31e
N1K0	2.71b	200.49b	27164.80cd
N2K0	2.63bc	196.30bc	25671.27de
N0K1	3.07a	212.24a	32298.56ab
N1K1	3.12a	214.08a	33834.47a
N2K1	2.96ab	206.32ab	30891.62b

注: 数据后的小写字母不同表示 0.05 水平上的差异显著。下同。

2.3 氮钾配施对甘薯 T/R 值的影响

由表 3 可以看出, 随着生育期的延长, 各处理甘薯茎叶与块根重量比 (T/R) 值均呈现不断降低的变化趋势。在 K0 处理下, T/R 值表现为 N2>N1>N0, 在 K1 处理下, T/R 值表现为 N2>N0>N1。在同一施氮水平下, T/R 值均表现为 K1<K0。单施钾肥甘薯 T/R 值均低于单施氮肥, 两者均高于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理 T/R 值最低。说明增施氮肥会促进甘薯地上部的生长, 而增施钾肥则有利于减少地上部旺长, 合理氮钾肥配施可以显著降低甘薯 T/R 值, 优化甘薯地上部与地下部的协调生长, 促进甘薯块根产量的形成。

表 3 不同氮钾处理对甘薯 T/R 值的影响

处理	栽秧后天数 (d)			
	40	60	80	100
N0K0	14.26cd	6.95c	4.06c	3.07bc
N1K0	17.05b	8.71ab	6.05a	4.49a
N2K0	20.36a	9.85a	5.96ab	4.31a
N0K1	13.76d	6.53c	3.85c	2.91c
N1K1	13.27d	6.43c	3.55c	2.83c
N2K1	15.41c	8.02b	5.18b	3.93ab

2.4 氮钾配施对甘薯块根膨大速率的影响

块根膨大速率在一定程度上能够反映碳水化合物在块根中的积累情况, 较高的积累速率是获得较高块根产量的重要条件。由图 2 可以看出, 随着生育期的延长, 各处理块根膨大速率均呈现“升高-降低”的趋势, 栽秧后 60~80 d 块根膨大速率最大。在同一施钾水平下, 随氮肥用量的增加甘薯块根膨大速率均表现为先升高后降低的趋势, N1 水平甘薯块根膨大速率均最高。施钾处理甘薯块根膨大速率均高于未施钾处理。单施钾肥甘薯块根膨大速率高于单施氮肥, 两者均低于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理甘薯块根膨大速率最高, 说明合理氮钾配施更有利于甘薯块根的快速膨大。

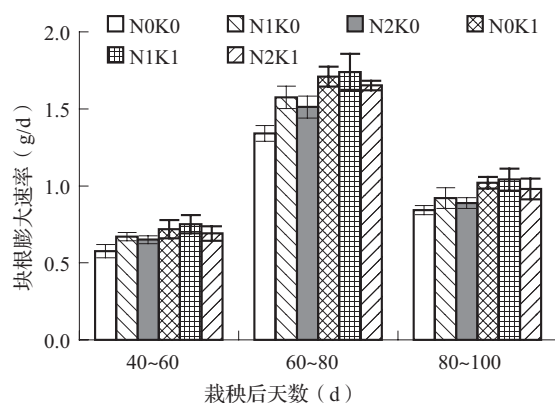


图 2 不同氮钾处理对甘薯块根膨大速率的影响

2.5 氮钾配施对甘薯块根商品薯率的影响

由表 4 可以看出, 在同一施钾水平下, 随氮肥用量的增加甘薯块根大、中薯比率均表现为 N1>N2>N0, 而小薯比率为 N0>N2>N1, 商品薯比率均表现为先升高后降低的趋势, N1 水平甘薯块根商品薯比率均最高。施钾处理甘薯块根商品薯比率均高于未施钾处理, 小薯比率则低于未施钾处理。单施钾肥甘薯块根商品薯比率高于单施氮肥,

小薯比率低于单施氮肥，两种处理甘薯块根商品薯比率均低于 N1K1 处理，小薯比率均高于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理甘薯块根商品薯比率最高，小薯比率最低。

表 4 商品薯比率 (%)

处理	薯重比率			商品薯比率
	大	中	小	
	>500 g	200 ~ 500 g	<200 g	
N0K0	21.9	38.2	39.9	60.1
N1K0	25.9	44.0	30.1	69.9
N2K0	22.8	41.5	35.7	64.3
N0K1	25.2	45.8	29.0	71.0
N1K1	28.1	49.8	22.1	77.9
N2K1	26.8	46.7	26.5	73.5

2.6 氮钾配施对甘薯干物质积累的影响

由图 3 可以看出，随生育时期的推进甘薯块根干重不断增加，在同一施钾水平下，随氮肥用量的增加甘薯块根干重先升高后降低，N1 水平甘薯块根干重均最高。施钾处理甘薯块根干重均高于未施钾处理。单施钾肥甘薯块根干重高于单施氮肥，两者均低于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理甘薯块根干重最高。

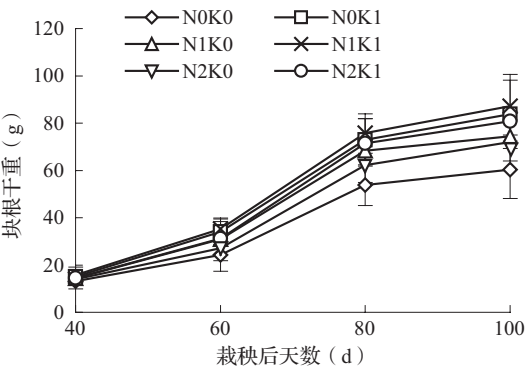


图 3 不同氮钾处理对甘薯块根干物质积累的影响

2.7 氮钾配施对甘薯收获期干物质分配的影响

由表 5 可以看出，在同一施钾水平下，增加氮肥用量可以显著增加甘薯单株总重和地上部干重（地上部干重 N1K1 除外），N2 处理甘薯单株总重和地上部干重均高于其他处理。增施钾肥可以增加甘薯块根干重和块根干物质分配率（块根/整株），各施钾处理甘薯块根干物质分配率均高于不施钾处理。单施钾肥甘薯块根干物质分配率高于单施氮

肥，两者均低于 N1K1 处理。所有处理中 N1K1 处理甘薯块根干物质分配率最高，说明合理氮钾配施有利于干物质向块根的分配，N1K1 处理更有利于增加干物质向块根中的分配比例，提高块根产量。

表 5 甘薯收获期干物质的分配率

处理	单株总重 (g)	地上部干重 (g)	块根干重 (g)	块根/整株 (%)
N0K0	531.23d	198.63d	332.60d	62.61bc
N1K0	608.33c	233.87b	374.46c	61.56c
N2K0	692.31ab	279.57a	412.74b	59.62c
N0K1	622.56c	210.18c	412.38b	66.24ab
N1K1	678.71b	202.40cd	476.31a	70.18a
N2K1	714.20a	261.44a	452.76a	63.39bc

3 讨论

氮、钾是作物生长发育的重要营养元素，是甘薯获得产量的关键因素。氮对甘薯生长前期块根的分化具有重要作用，在一定范围内，增施氮肥可以提高甘薯的干物质生产能力和块根产量，而施氮量过高会延迟结薯、导致地上部旺长、降低块根产量^[5, 7]。钾对甘薯光合同化物向块根的分配具有重要作用，氮、钾在块根内具有相互促进吸收的作用^[15]，氮钾配施在甘薯上的应用逐渐增多。研究表明，氮钾配施可以改变地下部根系形态和提高根系活力，促进根系养分吸收并提高甘薯产量^[16]。氮钾配施有利于增加库器官中干物质积累量，能显著提高甘薯氮和钾的养分积累量、甘薯源器官光合产物积累量和块根中蛋白质和可溶性糖类含量，从而改善甘薯品质^[17-18]。本试验研究表明，氮钾合理配施能够显著增加甘薯单株结薯数和单薯重，提高甘薯块根膨大速率和商品薯率，从而提高甘薯块根产量。施钾处理 K1 甘薯块根产量、块根膨大速率、商品薯率、单株结薯数和单薯重均高于单施氮肥 N1 处理，N1K1 处理甘薯产量、单株结薯数和单薯重最高，说明合理氮钾配施甘薯产量高于单施钾肥，单施钾肥高于单施氮肥，这与林琪等^[19]的研究结果一致。

甘薯地上部茎叶不断制造光合产物，形成了甘薯的“源”，地下部块根则积累碳水化合物，成为甘薯的“库”，地上部与地下部协调生长（源库协调）是甘薯获得高产的重要条件。研究表明，薯块干物率与最长蔓长、茎粗、基部分枝数都呈

负相关关系,甘薯地上部的旺盛生长不利于块根干物质的积累^[20]。本试验研究表明,单施氮肥可以促进甘薯茎叶生长,提高了蔓长、茎粗、单株分枝数和叶面积系数,随着施氮量的增加,甘薯地上部具有明显的旺长趋势,甘薯的 T/R 值显著增加,这与林子龙等^[21]、柴沙沙等^[22]的研究结果一致。氮钾互作效应调控光合产物在关键生长期合理分配进而协调了甘薯库源关系。氮钾配施处理促进甘薯生长前期光合产物向地上部“源”器官分配,在薯块膨大期氮素向地下部“库”转移,即实现了“促流”同时又达到了“扩库”的目的^[12]。本研究发现,氮钾肥配施 N1K1 处理茎叶生长指标合理,能够保证甘薯地上部源器官具有较强的光合同化物生产能力。同时,氮钾肥配施 N1K1 处理促进了光合产物向地下部库器官的转运分配,提高甘薯块根膨大速率,促进甘薯块根产量的形成。

4 结论

合理的氮钾肥配施条件下,氮肥能够促进甘薯茎叶生长,保证光合同化物的生产,钾肥能够促进光合产物向地下部块根的转运分配,提高块根产量,从而实现地上部与地下部的协调生长。本试验 N1K1 处理甘薯块根产量及干物质积累量最高,为最佳氮钾肥施用配比。

参考文献:

- [1] 马代夫,李强,曹清河,等.中国甘薯产业及产业的发展与展望[J].江苏农业学报,2012,28(5):969-973.
- [2] 史春余,张晓冬,张超,等.甘薯对不同形态氮素的吸收与利用[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):389-394.
- [3] Larry K H, Conrad H M, William H S, et al. Influence of N source, N rate and K rate on the yield and mineral concentration of sweet potato [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1984, 109 (3): 294-298.
- [4] 宁运旺,曹炳阁,马洪波,等.氮肥用量对滨海滩涂区甘薯干物质积累、氮素效率和钾钠吸收的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(8):982-987.
- [5] 唐忠厚,李洪民,张爱君,等.甘薯叶光合特性与块根主要性状对氮素供应形态的响应[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1494-1501.
- [6] Osaki M, Ueda H, Shinano T, et al. Accumulation of carbon and nitrogen compounds in sweet potato plants grown under deficiency of N, P, or K nutrients [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41 (3): 557-566.
- [7] Hartemink A E. Integrated nutrient management research with sweet potato in Papua New Guinea [J]. Outlook on Agriculture, 2003, 32 (3): 173-182.
- [8] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, et al. Nitrogen cycles: past, present, and future [J]. Biogeochemistry, 2004, 70 (2): 153-226.
- [9] Ankumah R O, Khan V, Mwamba K, et al. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 100 (2-3): 201-207.
- [10] 史春余,王振林,赵秉强,等.钾营养对甘薯某些生理特性和产量形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(1):81-85.
- [11] 陈晓光,史春余,李洪民,等.施钾时期对食用甘薯光合特性和块根淀粉积累的影响[J].应用生态学报,2013,24(3):759-763.
- [12] 柳洪鹏,史春余,张立明,等.钾素对食用型甘薯糖代谢相关酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):724-732.
- [13] 江燕.氮钾互作对甘薯养分吸收利用和产量的影响[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [14] 王萌,房增国,梁斌,等.高肥力土壤氮钾配施对鲜食型甘薯产量及品质的影响[J].华北农学报,2016,31(5):199-204.
- [15] 吕长文,赵勇,唐道彬,等.不同类型甘薯品种氮、钾积累分配及其与产量性状的关系[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):475-482.
- [16] 汪顺义,李欢,刘庆,等.氮钾互作对甘薯根系发育及碳氮代谢酶活性的影响[J].华北农学报,2015,30(5):167-173.
- [17] 汪顺义,刘庆,史衍玺,等.施钾对甘薯氮素转移分配及氮代谢酶活性的影响[J].应用生态学报,2016,27(11):3569-3576.
- [18] 汪顺义,刘庆,史衍玺,等.氮钾配施对甘薯光合产物积累及分配的影响[J].中国农业科学,2017,50(14):2706-2716.
- [19] 林琪,石岩.不同氮钾对比对甘薯生长发育及产量形成的影响[J].土壤肥料,1996(5):42-44.
- [20] 贾赵东,马佩勇,边小峰,等.氮钾配施和栽插密度对甘薯干物质积累及产量形成的影响[J].华北农学报,2012,27(增刊):320-327.
- [21] 林子龙,郭其茂,陈根辉,等.氮钾配施对甘薯龙薯31号生长和产量的影响[J].江西农业学报,2019,31(8):42-45.
- [22] 柴沙沙,雷剑王,连军,等.氮、钾互作对甘薯生长发育规律的影响[J].湖北农业科学,2018,57(22):24-26.

Interactive effects of nitrogen and potassium on the stem and leaves growth, yield formation and dry matter distribution of sweet potato

SUN Zhe¹, TIAN Chang-geng¹, CHEN Lu-lu¹, WANG Hong-xia², ZHENG Jian-li¹, ZHAO Feng-ling¹ (1. Tai'an Academy of Agricultural Sciences, Tai'an Shandong 271000; 2. Institute of Plant Physiology & Ecology, Shanghai Research Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032)

Abstract: The experiment was carried out to investigate the interactive effects of nitrogen and potassium on the growth and development, yield formation and dry matter distribution of sweet potato, in order to provide theoretical basis for safe and efficient fertilization on sweet potato. Sweet potato cultivar “Taishu No.14” was used as tested crop, different ratios of nitrogen to potassium fertilizer were set up, and the interactive effects of nitrogen and potassium on the stem and leaves growth, yield and yield formation and dry matter accumulation and distribution were studied. The results showed that: The treatment with nitrogen and potassium application rates of 9, 18 g/m² (N1K1) increased the tuber number and single tuber weight, improved increasing velocity, and increased storage root yield. The storage root yield, increasing velocity, marketable ratio of storage root and lump weight of the treatment K1 were higher than those of the only N fertilizer treatment. The storage root yield, tuber number and single tuber weight of N1K1 were the highest. The interactive effects of nitrogen and potassium could control over-growing of the stem and leaves, and reduced T/R value, increased the dry matter distribution to storage root, and the effects of the N1K1 treatment were the best remarkable. In the experiment N1K1 was the best ratio of nitrogen potassium fertilizer, which could promote coordinate growth between overground part and underground part, promote storage root expanding quickly, and increase storage root yield.

Key words: sweet potato; interactive effects of nitrogen and potassium; the stem and leaves growth; yield; dry matter