

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

贾赵东, 马佩勇, 边小峰, 郭小丁, 谢一芝

(江苏省农业科学院 粮食作物研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以兼用型甘薯品种苏薯 15 号为材料, 采用田间小区试验, 研究了不同栽插密度与氮、钾肥配施对甘薯产量和干物质积累的影响。结果表明: 不同的氮、钾肥施用量和栽插密度对甘薯干物质积累和经济产量的形成有较大影响。薯干产量与干物率、基部分枝数呈显著正相关, 与蔓薯比呈极显著负相关, 与茎粗呈显著负相关; 薯块干物率与最长蔓长、茎粗、基部分枝数都呈负相关关系, 其中与茎粗呈极显著负相关。供试 18 种处理组合中低氮低钾低密度处理经济产量最高, 蔓薯比最佳; 在对块根干物质积累的影响效应中, 施钾量 > 栽插密度 > 施氮量, 且施钾量和栽插密度有显著的互作效应; 施氮量和栽插密度是影响地上部干物质积累的主要因素。因此, 生产中保持合理的栽插密度是获得高产的基本条件, 欲通过增加栽插密度来获取超高产的可能性不大。从本试验来看, 纯氮 120 kg/hm^2 、 K_2O 180 kg/hm^2 与栽插密度 $4.95 \times 10^4 \text{ 株/hm}^2$ 的肥密组合有利于苏薯 15 号发挥其高产潜力。

关键词: 甘薯; 氮钾配施; 栽插密度; 干物质积累; 产量

中图分类号: S143 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0320-08

The Effects of Different N and K Fertilizer Ratio and Planting Density on Yield and Dry Matter Accumulation of Sweetpotato

JIA Zhao-dong, MA Pei-yong, BIAN Xiao-feng, GUO Xiao-ding, XIE Yi-zhi

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects and their interaction of different planting density and N, K fertilizer application amount on yield and dry matter accumulation of sweetpotato Sushu 15. The results show that dry matter accumulation and economic yield are significantly impacted by different amount of N, K and planting density and their interaction. Yields of dry matter had significant positive correlation with dry matter content, or number of base branches, and had extremely significant negative correlation with the rate of top and root, and had significant negative correlation with stem diameter. Dry matter content of storage roots had negative correlation with length of the longest vine, number of base branches, and had significant negative correlation with stem diameter. In 18 experiment treatments, the highly economic yield appeared in treatment of A1B1C1, and had the optimal rate of top and root. The effect of each factor on dry matter accumulation of storage roots was K fertilizer > planting density > N fertilizer. K fertilizer and planting density had significantly interaction effect; N fertilizer and planting density were mostly influence factor on dry matter accumulation of stems and leaves. Therefore, the basic conditions of obtained high yield were to maintain a reasonable planting density in sweetpotato production, it was unlikely to achieve super-high yield by increase planting density. Under the experiment condition, the combination of N 120 kg/ha , K_2O 180 kg/ha and $4.95 \times 10^4 \text{ plant/ha}$ is favorable for high economic yield of Sushu 15.

Key words: Sweetpotato; N and K fertilizer ratio; Transplanting density; Dry matter accumulation; Yield

甘薯是一种高产稳产、营养丰富、用途广泛的重要农作物。肥料运筹和栽插密度是甘薯高产栽培研

收稿日期: 2012-08-10

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-41-C-03); 国家 863 计划(2012AA101204-4-7); 江苏省科技支撑计划(BE2011301-4); 江苏省农业科技自主创新基金(CX(10)134; CX(11)1027)

作者简介: 贾赵东(1977-), 男, 山西晋城人, 助理研究员, 硕士, 主要从事甘薯种质创新与遗传改良研究。

通讯作者: 谢一芝(1962-), 男, 江苏无锡人, 研究员, 学士, 主要从事甘薯遗传育种及栽培生理研究。

究的核心内容,合理的栽插密度和肥料运筹可以协调甘薯地上部和地下部的生长,促进干物质向块根的运转和分配^[1]。长期以来,人们对与甘薯高产相关的栽插密度、施肥量、吸肥特性以及不同肥料配比对甘薯产量和品质的影响等方面进行了大量的研究。林琪等^[2]研究表明在不同肥料配比处理的块根产量结果中,氮、钾配合产量高于单施钾肥,单施钾肥高于单施氮肥。王小晶等^[3]认为对甘薯进行分期施肥能明显提高薯块产量和改善部分营养品质。尹子娟等^[4]研究了不同有效钾用量对甘薯生长、产量及品质的影响,结果显示,钾肥对甘薯的茎叶生长有一定的促进作用,钾肥对薯块的增产效应显著,同时钾肥可以改善甘薯的品质,但过高的钾肥用量会降低增产效果。姚海兰等^[5]在相同施钾量的基础上,研究不同生育时期施钾对甘薯植株性状及产量的影响,结果表明,基施或封垄期追施钾肥有利于甘薯基部茎节发育和分枝,提高单薯质量和大薯比例,显著提高块根产量。史春余等^[6]通过甘薯对不同形态氮素的吸收与利用特点分析,指出甘薯生产中施用铵态氮肥有利于高产和高效。但是前人的研究以多集中在密度、肥料等单因素对甘薯品种鲜薯产量和品质影响方面,而将氮、钾肥配施和栽插密度相结合探讨甘薯干物质积累特点方面的研究很少。为了阐明兼用型甘薯品种适宜的肥密组合,以及增密减肥、增肥减密是否可以实现同样高产高效目标等科学问题,本研究以江苏省农科院粮食作物研究所选育的兼用型品种苏薯15号为对象^[7],研究了不同栽插密度和氮钾配施处理组合对甘薯产量以及干物质积累的影响效应,旨在为制定兼用型品种高产栽培策略提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验点概况

试验于2011年在江苏省农业科学院六合基地进行。供试土壤为南京地区典型的马肝土,含有机质15.2 g/kg、碱解氮97.6 mg/kg、有效磷12.4 mg/kg、速效钾61.5 mg/kg pH 5.96。

1.2 供试材料

选用优质兼用型甘薯品种苏薯15号。供试肥料为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)、硫酸钾(含 K_2O 50%)。所有肥料均作为基肥在栽插前条施,常规田间管理。

1.3 试验设计

试验三因素完全随机区组设计,试验在施基本磷肥(P_2O_5 90 kg/hm²)基础上,施氮量设3个水平,

低氮(N 120 kg/hm², A1)、中氮(N 180 kg/hm², A2)、高氮(N 240 kg/hm², A3);施钾量设3个水平,低钾(K_2O 180 kg/hm², B1)、中钾(K_2O 270 kg/hm², B2)、高钾(K_2O 360 kg/hm², B3);栽插密度设2个水平,低密度(4.95×10^4 株/hm², C1)、高密度(N 6.45×10^4 株/hm², C2)。试验设18个小区,随机排列,3次重复,小区面积14.4 m²,4行区种植,行距0.9 m,单株栽苗,试验地周围设置保护行。栽插时间为6月1日,收获时间为11月15日。收获时去除两边行以2行区测产,按小区计产换算产量(kg/hm²),干物质含量(%)利用烘干比质量法测定。其他管理同一般高产栽培管理措施。试验数据利用Excel和SPSS统计分析软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 氮钾配施和栽插密度对地上部干物质积累的影响

2.1.1 对不同生育期茎叶干物质积累量的影响

栽插密度和氮钾肥对甘薯地上部茎叶干物质积累量在各生育期均有不同程度的影响,由表1可以看出,在前期,中氮高钾高密度处理表现最高,高氮中钾低密度处理表现最低,方差分析表明,施氮量和栽插密度对前期茎叶干物质积累量的影响均极显著,施钾的影响不显著,施氮量 \times 施钾量和施氮量 \times 栽插密度的互作效应极显著。在中期,高氮中钾高密度处理表现最高,高氮中钾低密度处理表现最低,方差分析表明,栽插密度对中期茎叶物质积累量的影响极显著,施氮和施钾的影响不显著,施氮量 \times 栽插密度的互作效应极显著,施钾量 \times 栽插密度有显著互作效应。在后期,高氮低钾高密度处理表现最高,低氮中钾低密度处理表现最低,方差分析表明,施氮量和栽插密度对后期茎叶干物质积累量均有显著影响,其中施氮量的影响达极显著水平,施钾的影响不显著,施钾量 \times 栽插密度有显著互作效应。综合分析,在甘薯生长的3个时期,施钾量对地上部茎叶干物质积累量的影响均没有达到显著水平,而施氮量和栽插密度的影响有不同程度的显著效应,可见,施氮量和栽插密度是影响地上部干物质积累量的主要因素,这些结果表明,施氮量和栽插密度提高均能增加地上部干物质积累量。

2.1.2 对不同生育期茎叶干物质含量的影响 由表2可以看出,栽插密度和氮钾肥配施对甘薯前期的茎叶干物质含量没有显著影响效应,但在中、后期影响效应达到极显著水平。在中期,中氮中钾低密度处理表现最高,高氮中钾低密度处理表现最低,方

差分析表明 施氮量对中期茎叶干物质含量有极显著影响 施钾量和栽插密度的影响不显著 施氮量 × 栽插密度有极显著互作效应。在后期 高氮中钾高密度处理表现最高 低氮低钾低密度处理表现最低 , 方差分析表明 栽插密度对后期茎叶干物质含量有显著影响 施钾量和施氮量影响不显著 施氮量 × 栽

插密度有极显著互作效应。综合分析 在甘薯生长的 3 个时期 施氮量和栽插密度是影响地上部干物质含量的主要影响因素 前期影响不明显 可能是甘薯早期地上部生长量有限 植株体量较小 植株间差异很小。

表 1 氮钾配施和栽插密度对不同生育期茎叶干物质积累的影响

Tab. 1 Effect of different amount of N, K and plant density on dry matter accumulation in leaf and stem at different growth stages

编号 Number	处理 Treatments	茎叶干物质产量/(kg/hm ²) Dry matter yield of stems and leaf		
		60 d	90 d	120 d
T1	A1B1C1	3 473.70 ± 365.55cdeABCDE	4 949.10 ± 784.20cdeBC	4 124.25 ± 1 317.75cdBC
T2	A1B2C1	5 568.00 ± 828.15abABC	5 246.10 ± 411.15bcdeBC	3 335.40 ± 1 081.50dC
T3	A1B3C1	4 413.75 ± 1 478.70abcABCD	6 480.30 ± 1 710.30bcdABC	6 292.20 ± 1 048.35bcdBC
T4	A2B1C1	3 970.50 ± 2 059.35bcABCDE	4 518.45 ± 2 391.60cdeBC	5 020.05 ± 3 755.70bcdBC
T5	A2B2C1	2 956.20 ± 1 456.65cdefCDE	2 710.05 ± 1 798.35eC	5 548.05 ± 493.05bcdBC
T6	A2B3C1	1 802.70 ± 406.20defDE	7 008.30 ± 1 121.25abcdABC	6 368.10 ± 1 347.75bcdBC
T7	A3B1C1	3 335.40 ± 947.25cdefBCDE	4 869.90 ± 1 568.40cdeBC	5 526.60 ± 2 357.10bcdBC
T8	A3B2C1	1 335.45 ± 393.90fE	2 465.85 ± 962.55eC	5 211.45 ± 627.75bcdBC
T9	A3B3C1	1 585.80 ± 475.20efE	4 056.45 ± 984.30deBC	8 629.95 ± 709.35abcABC
T10	A1B1C2	3 358.20 ± 1 119.75cdefBCDE	4 849.20 ± 1 365.45cdeBC	6 859.50 ± 1 230.90bcdABC
T11	A1B2C2	5 902.50 ± 566.70abAB	5 312.40 ± 525.15bcdeABC	6 511.20 ± 1 152.45bcdABC
T12	A1B3C2	3 271.35 ± 1 281.60defBCDE	5 401.80 ± 1 912.35bcdeABC	4 151.70 ± 1 167.60cdBC
T13	A2B1C2	4 950.90 ± 1 178.70abcABC	6 066.15 ± 2 751.60bcdeABC	6 941.25 ± 2 774.10bcdABC
T14	A2B2C2	3 861.15 ± 816.00bcdABCDE	7 163.10 ± 3 576.00abcdABC	5 025.60 ± 1 505.10bcdBC
T15	A2B3C2	6 191.25 ± 1 426.50aA	5 666.25 ± 2 439.30bcdeABC	5 330.85 ± 1 227.00bcdBC
T16	A3B1C2	4 693.50 ± 720.30abcABC	8 014.05 ± 2 338.50abcAB	12 731.10 ± 6 842.10aA
T17	A3B2C2	3 111.15 ± 375.15cdefBCDE	10 186.35 ± 2 055.60aA	6 724.05 ± 3 119.55bcdABC
T18	A3B3C2	4 397.55 ± 1 529.70abcABCD	8 878.35 ± 2 330.25abAB	9 933.45 ± 3 676.35abAB
F 值 F value				
A		6.36**	1.56	7.01**
B		0.48	0.85	1.98
C		18.13**	16.94**	5.35*
A × B		6.43**	0.24	0.80
A × C		7.04**	10.01**	1.92
B × C		1.75	3.67*	3.80*
A × B × C		2.38	1.08	0.79

注: 同一列数据后小写和大写字母分别表示差异达到 5% 和 1% 的显著水平; *, ** 分别表示 0.05 和 0.01 的显著水平 表 2~6 同。

Note: Values followed by different small and capital letters in the same column are significant at 5% and 1% level; *, ** Significant at 0.05 and 0.01 levels respectively. The same as Tab. 2-6.

2.2 氮钾配施和栽插密度对地下部干物质积累的影响

2.2.1 氮钾配施和栽插密度对地下部干物质积累量的影响 试验表明 栽插密度和氮钾配施对甘薯地下部干物质积累有明显影响。由表 3 可以看出, 不同肥密组合对前期和中期的影响效应达极显著水平 对后期也有显著影响效应。在前期 低氮高钾高密度处理表现最高 高氮中钾低密度处理表现最低, 方差分析表明 施氮量、施钾量和栽插密度对前期地下部块根的影响均极显著 栽插密度和施氮量有显著互作效应 栽插密度和施钾量的互作效应极显著,

施氮量 × 施钾量和施氮量 × 栽插密度的互作效应极显著。在中期 低氮高钾高密度处理表现最高 中氮中钾低密度表现最低 方差分析表明 施氮量、施钾量和栽插密度对中期地下部块根的影响均极显著, 钾肥与栽插密度的互作效应极显著 施氮量与栽插密度、施钾量的互作不显著。在后期 低氮低钾低密度处理表现最高 高氮高钾低密度表现最低 方差分析表明 施氮量、施钾量和栽插密度单个影响效应均不显著 施氮量和施钾量的互作效应不显著 栽插密度与施氮量和施钾量二者之间的互作效应达到显著水平 其中和施钾量的互作达极显著水平。综合分

表 2 氮钾配施和栽插密度对不同生育期茎叶干物质含量的影响

Tab.2 Effect of different amount of N K and plant density on dry matter content in leaf and stem at different growth stages

编号 Number	处理 Treatments	茎叶干物质含量/% Dry matter content of stem and leaf		
		60 d	90 d	120 d
T1	A1B1C1	10.47 ± 1.40abA	11.49 ± 0.88cdeBC	11.93 ± 0.85bB
T2	A1B2C1	10.25 ± 0.44abA	12.21 ± 1.32bcdeBC	13.04 ± 0.39bB
T3	A1B3C1	10.48 ± 0.42abA	12.48 ± 1.49bcdABC	12.19 ± 1.07bB
T4	A2B1C1	11.49 ± 0.77aA	14.35 ± 0.92abcAB	12.41 ± 1.08bB
T5	A2B2C1	11.27 ± 0.66aA	16.30 ± 1.66aA	13.49 ± 0.70bB
T6	A2B3C1	9.41 ± 1.55bA	13.49 ± 0.72abcdAB	13.38 ± 1.22bB
T7	A3B1C1	11.34 ± 0.39aA	12.07 ± 0.51bcdeBC	12.74 ± 1.32bB
T8	A3B2C1	11.06 ± 0.59abA	9.35 ± 2.06eC	12.25 ± 2.66bB
T9	A3B3C1	10.69 ± 0.41abA	11.65 ± 0.90cdeBC	12.43 ± 0.82bB
T10	A1B1C2	10.68 ± 0.56abA	11.70 ± 0.60cdeBC	12.37 ± 0.79bB
T11	A1B2C2	10.81 ± 0.72abA	12.34 ± 1.78bcdABC	12.82 ± 0.53bB
T12	A1B3C2	10.57 ± 0.20abA	11.24 ± 0.38deBC	12.30 ± 0.34bB
T13	A2B1C2	11.20 ± 1.38abA	14.31 ± 0.92abcAB	13.69 ± 0.52bB
T14	A2B2C2	10.35 ± 0.11abA	13.51 ± 3.11abcdAB	12.71 ± 1.34bB
T15	A2B3C2	11.26 ± 0.85aA	14.49 ± 3.06abcAB	13.54 ± 0.66bB
T16	A3B1C2	10.62 ± 0.48abA	13.41 ± 0.38abcdAB	13.74 ± 0.53bB
T17	A3B2C2	10.61 ± 2.09abA	15.09 ± 2.14abAB	18.60 ± 4.45aA
T18	A3B3C2	10.43 ± 0.59abA	12.55 ± 1.03bcdABC	12.35 ± 1.26bB
F 值 F value				
A		0.53	13.22 **	3.20
B		1.30	0.43	3.09
C		0.00	1.92	5.12 *
A × B		0.43	0.34	2.09
A × C		0.97	6.08 **	3.47 *
B × C		1.24	0.31	1.51
A × B × C		1.38	0.45 *	3.67 *

表 3 氮钾配施和栽插密度对不同生育期地下部干物质积累的影响

Tab.3 Effect of different amount of N K and plant density on dry matter accumulation in roots at different growth stages

编号 Number	处理 Treatments	薯干产量/(kg/hm ²) Dry matter yield of storage roots		
		60 d	90 d	120 d
T1	A1B1C1	1 044.90 ± 503.55bcdBCD	3 471.30 ± 1 788.00bcABC	7 023.60 ± 1893.75aA
T2	A1B2C1	1 514.85 ± 280.20abAB	2 043.45 ± 696.45defCDE	4 644.45 ± 1 011.00abcdAB
T3	A1B3C1	528.90 ± 233.40defgCDEF	1 531.50 ± 222.15defDE	6 064.20 ± 2 574.15abAB
T4	A2B1C1	697.65 ± 366.30defgCDEF	1 227.90 ± 700.80efDE	5 465.25 ± 472.50abcdAB
T5	A2B2C1	357.45 ± 188.10efgDEF	815.25 ± 386.25fE	4 183.20 ± 1 641.30bcdAB
T6	A2B3C1	242.25 ± 29.10fgEF	2 121.75 ± 84.90deCDE	5 799.15 ± 1 429.80abcAB
T7	A3B1C1	671.70 ± 446.25cdefgCDEF	2 028.75 ± 87.60dfCDE	5 301.90 ± 3 681.45abcdAB
T8	A3B2C1	131.40 ± 16.95gF	978.75 ± 424.80efE	4 298.55 ± 66.30abcdAB
T9	A3B3C1	143.10 ± 83.70fgF	1 364.85 ± 532.65efDE	2 953.05 ± 468.00dB
T10	A1B1C2	1 171.50 ± 399.45bcBC	1 605.75 ± 185.25defDE	3 043.35 ± 415.05cdB
T11	A1B2C2	582.75 ± 241.05defgCDEF	1 770.90 ± 447.90defDE	3 710.10 ± 236.25bcdAB
T12	A1B3C2	1 978.35 ± 533.70aA	4 949.85 ± 499.35aA	6 118.65 ± 444.00abAB
T13	A2B1C2	1 450.50 ± 358.05bAB	2 713.05 ± 65.85cdBCD	3 602.40 ± 206.85bcdAB
T14	A2B2C2	491.55 ± 89.85efgCDEF	1 662.45 ± 746.40defDE	4 728.30 ± 1 882.80abcdAB
T15	A2B3C2	1 468.80 ± 205.20bAB	2 716.65 ± 485.40cdBCD	4 653.00 ± 611.85abcdAB
T16	A3B1C2	660.75 ± 53.55cdefgCDEF	1 861.05 ± 110.10defCDE	3 131.55 ± 403.65cdB
T17	A3B2C2	410.55 ± 61.35efgDEF	2 133.30 ± 609.45deCDE	5 786.85 ± 420.30abcAB
T18	A3B3C2	885.75 ± 207.30cdeBCDE	4 048.95 ± 1126.80abAB	6 053.85 ± 1 191.90abAB
F 值 F value				
A		23.17 **	5.21 **	0.62
B		8.21 **	15.54 **	1.46
C		28.52 **	23.92 **	2.00
A × B		1.68	0.16	1.18
A × C		3.52 *	1.73	3.43 *
B × C		24.03 **	15.87 **	7.65 **
A × B × C		4.87 **	8.70 **	1.12

析 在甘薯生长的 3 个时期,施氮量、施钾量和栽插密度 3 个因素对地下部干物质积累量均有显著影响,而施钾量和栽插密度有显著的互作效应。可见,施钾量和栽插密度是影响地下部干物质积累量的主要因素,盲目增加施肥量和增加栽插密度不是科学合理的增产栽培措施。这些结果表明,生产上为了达到最大薯干产量,应适当控制施氮量(低氮),保持相应的施钾量(中-低钾)和适当的栽插密度(低密度)。

2.2.2 氮钾配施和栽插密度对地下部干物质含量的影响 由表 4 可以看出,不同肥密组合对前期和后期的甘薯地下部干物质含量影响效应不显著,对中期有极显著影响效应。在中期,高氮中钾低密度处理表现最高,高氮高钾高密度最低,方差分析表明,施氮量、

施钾量和栽插密度对中期地下部块根干物质含量的影响均达显著水平,三个因素之间没有显著的互作效应。由于中期是薯蔓并长期,该时期茎叶迅速盛长达到高峰,肥料需求量较大。在后期,各处理之间没有明显差异,低氮低钾高密度表现最高,高氮中钾高密度最低,方差分析表明,施钾量对后期地下部块根干物质含量的影响达显著水平,3 个因素之间没有显著的互作效应,可见,施钾量是影响薯块干物质含量的主要因素。综合分析,施氮量过高不利于提高薯块干物质含量,施钾量对后期干物质含量的提高有显著影响,因此,生产上要控制氮肥用量(低氮),合理增施钾肥(低-中钾),保持一定的栽插密度(低密度-高密度)。

表 4 氮钾配施和栽插密度对不同生育期薯块干物质含量的影响

Tab. 4 Effect of different amount of N, K and plant density on dry matter content in roots at different growth stages

编号 Number	处理 Treatments	薯块干物质含量/% Dry matter content of storage roots		
		60 d	90 d	120 d
T1	A1B1C1	23.87 ± 2.85abA	27.26 ± 1.11bcdeABCD	24.25 ± 3.71abAB
T2	A1B2C1	22.80 ± 2.08abA	27.68 ± 5.46bcdeABCD	21.71 ± 5.35bcAB
T3	A1B3C1	27.26 ± 4.78abA	28.89 ± 7.50abcdeABCD	22.28 ± 2.67bcAB
T4	A2B1C1	22.55 ± 1.54abA	30.01 ± 1.37abcdeABCD	23.52 ± 2.93abcAB
T5	A2B2C1	26.92 ± 1.39abA	32.04 ± 1.05abcABCD	21.04 ± 1.86bcAB
T6	A2B3C1	19.40 ± 3.80bA	29.62 ± 0.97abcdeABCD	22.73 ± 1.17abcAB
T7	A3B1C1	26.62 ± 6.04abA	33.09 ± 3.42abABC	23.93 ± 2.54abAB
T8	A3B2C1	24.50 ± 7.46abA	35.13 ± 2.33aA	20.36 ± 1.65bcB
T9	A3B3C1	21.83 ± 13.10abA	27.91 ± 5.09bcdeABCD	21.54 ± 0.43bcAB
T10	A1B1C2	23.96 ± 0.94abA	25.66 ± 1.90cdeBCD	26.77 ± 1.98aA
T11	A1B2C2	31.73 ± 9.99aA	24.70 ± 1.92deCD	21.79 ± 2.10bcAB
T12	A1B3C2	24.13 ± 2.62abA	26.25 ± 1.31cdeABCD	23.50 ± 2.31abcAB
T13	A2B1C2	24.42 ± 4.09abA	30.40 ± 1.31abcdABCD	21.37 ± 0.48bcAB
T14	A2B2C2	23.74 ± 3.73abA	34.70 ± 5.17aAB	21.44 ± 1.50bcAB
T15	A2B3C2	22.63 ± 2.33abA	24.55 ± 1.73deCD	23.01 ± 1.38abcAB
T16	A3B1C2	23.10 ± 2.87abA	26.20 ± 2.71cdeABCD	22.84 ± 1.18abcAB
T17	A3B2C2	23.29 ± 3.29abA	29.48 ± 5.07abcdeABCD	19.36 ± 0.65cB
T18	A3B3C2	21.94 ± 0.74abA	23.36 ± 1.86eD	21.48 ± 1.28bcAB
F 值 F value				
A		1.06	4.71*	2.90
B		1.17	5.48**	6.91**
C		0.11	9.48**	0.00
A × B		0.59	2.58	0.88
A × C		0.43	2.39	1.03
B × C		0.15	0.42	0.14
A × B × C		1.39	0.88	0.49

2.3 氮钾配施和栽插密度对甘薯产量形成与分配的影响

试验表明,本研究中不同肥密组合对甘薯生物产量和经济产量的影响效应均达极显著水平。由表 5 看出,高氮低钾低密度生物产量最高,低氮低钾低密

度次之,中氮低钾高密度最低,方差分析表明,栽插密度对生物产量的影响极显著,施钾量和施氮量的影响不显著,但施钾量的影响效应大于施氮量,施钾量 × 栽插密度的互作效应达极显著水平;对经济产量的分析可见,低氮低钾低密度经济产量最高,中氮低钾低

密度次之,中氮低钾高密度最低,方差分析表明,栽插密度对经济产量的影响极显著,施钾量和施氮量的影响不显著,但施钾量的影响效应大于施氮量,施钾量 \times 栽插密度的互作效应达极显著水平。可见,施钾量与栽插密度是影响甘薯产量形成的重要因素,盲目提

高栽插密度并不能实现同步提高生物产量和经济产量。生产实践中,为实现经济产量的最大化,要合理控制栽插密度(低密度),施氮量(中氮)与施钾量(中-低钾)合理配合施用,过多的增施钾肥也不利于高产。

表5 氮钾配施和栽插密度对甘薯产量形成与分配的影响

Tab. 5 Effect of different amount of N K and plant density on yield and its distribution at different growth stages

编号 Number	处理 Treatments	生物产量/(kg/hm ²) Biomass	经济产量/(kg/hm ²) Economic yield	商品薯率/% Commodity rate	蔓薯比 Top/Root
T1	A1B1C1	15 833.40 \pm 2 074.05aA	11 185.50 \pm 1 832.70aA	92.55 \pm 4.77aA	0.83 \pm 0.05fD
T2	A1B2C1	13 894.35 \pm 2 641.05abcdABCD	9 264.90 \pm 2 576.85abcdABC	90.90 \pm 2.01abA	1.02 \pm 0.20efCD
T3	A1B3C1	12 370.05 \pm 769.50bcdeABCD	7 948.20 \pm 526.35bcdeABCD	92.38 \pm 1.31aA	1.15 \pm 0.08cdeBCD
T4	A2B1C1	15 541.80 \pm 1 974.00aAB	10 218.45 \pm 942.45abAB	93.17 \pm 0.58aA	1.04 \pm 0.23efCD
T5	A2B2C1	13 384.80 \pm 2 068.50abcdeABCD	7 057.80 \pm 1 260.00defBCD	88.37 \pm 3.93abAB	1.40 \pm 0.06bcABC
T6	A2B3C1	15 499.65 \pm 624.00aAB	9 684.30 \pm 990.75abcAB	91.77 \pm 3.27aA	1.07 \pm 0.10defCD
T7	A3B1C1	15 842.25 \pm 497.55aA	8 942.55 \pm 746.25abcdABC	88.27 \pm 2.56abAB	1.39 \pm 0.06bcABC
T8	A3B2C1	14 756.25 \pm 2 497.35abABC	7 729.80 \pm 2 178.60cdeBCD	89.46 \pm 2.79abAB	1.38 \pm 0.20bcdABC
T9	A3B3C1	14 966.25 \pm 989.55abABC	8 491.95 \pm 1 009.05bcdeABCD	87.99 \pm 3.28abAB	1.37 \pm 0.17bcdABC
T10	A1B1C2	11 780.25 \pm 858.90cdeBCD	6 304.05 \pm 866.85efCD	89.93 \pm 2.30abA	1.58 \pm 0.15abA
T11	A1B2C2	13 265.85 \pm 492.00abcdeABCD	7 414.05 \pm 876.30cdefBCD	90.19 \pm 2.41abA	1.38 \pm 0.18bcdABC
T12	A1B3C2	14 943.00 \pm 990.45abABC	9 377.70 \pm 1 573.50 abcdABC	79.85 \pm 4.05cB	1.04 \pm 0.18efCD
T13	A2B1C2	10 697.70 \pm 558.30eD	5 311.65 \pm 897.60fD	87.83 \pm 9.27abAB	1.75 \pm 0.23aA
T14	A2B2C2	14 487.15 \pm 882.60abcABC	8 295.60 \pm 457.05bcdeABCD	92.15 \pm 0.49aA	1.15 \pm 0.11cdeBCD
T15	A2B3C2	14 887.05 \pm 1 016.40abABC	9 438.75 \pm 1 323.15abcdABC	92.32 \pm 1.21aA	1.11 \pm 0.34cdefCD
T16	A3B1C2	11 554.35 \pm 1 384.80deCD	6 257.70 \pm 692.40efCD	83.35 \pm 8.89bcAB	1.55 \pm 0.10abAB
T17	A3B2C2	13 432.05 \pm 1 017.90abcdeABCD	8 863.50 \pm 805.35abcdABC	90.02 \pm 2.44abA	1.10 \pm 0.03cdefCD
T18	A3B3C2	14 190.15 \pm 1 981.20abcdABCD	8 715.00 \pm 834.15bcdABC	91.71 \pm 2.05aA	1.09 \pm 0.10cdefCD
F 值 F value					
A		0.50	0.49	1.78	3.79*
B		1.87	2.88	0.33	7.69**
C		12.75**	11.65**	3.20	8.24**
A \times B		0.87	1.28	2.45	1.08
A \times C		1.06	1.28	2.36	9.76**
B \times C		14.00**	18.97**	2.27	23.35**
A \times B \times C		1.31	1.93	2.65*	2.89*

本试验中不同肥密组合对甘薯商品薯率影响效应无明显差异。由表5可见,方差分析表明栽插密度、施氮量和施钾量3个因素对商品薯率均无显著影响效应,但是施氮量 \times 施钾量 \times 栽插密度三者之间有显著的互作效应,可见,栽插密度过低和过高,施肥量过少或过多都不是提高商品薯率的正确措施,商品薯率的提高是三者综合效应的共同作用,即通过低肥高密度或者是高肥低密度同样可以获得理想商品薯率,片面地追求大薯而降低栽插密度或者不合理的增加栽插密度,都不利于提高产量和商品薯率。

蔓薯比(T/R值)的变化可以反映甘薯地上部生长与块根膨大关系的动态变化,表明植株养分向块根的分配情况。蔓薯比的分析结果表明,不同肥密组合对甘薯蔓薯比影响效应均达极显著水平。中氮低钾

高密度最高,高氮低钾高密度次之,低氮中钾低密度和低氮低钾低密度蔓薯比均较小,方差分析表明,施氮量、施钾量和栽插密度对蔓薯比均有显著影响效应,施氮量 \times 栽插密度和施钾量 \times 栽插密度的互作效应极显著,可见,栽插密度和氮钾肥的配和施用能显著影响甘薯蔓薯比变化。因此,过高的施氮量和过大的栽插密度不利于甘薯植株的养分向块根转移,合理适度的栽插密度是获得高产的基本保证。

2.4 主要农艺性状指标的相关性分析

从表6可以看出,生物产量与薯干产量、经济系数、基部分枝数呈极显著正相关;生物产量与蔓薯比呈极显著负相关。说明在本试验条件下,提高甘薯基部分枝数有利于提高生物产量,蔓薯比愈小愈利于提高生物产量。薯干产量与生物产量、经济系数呈极显

著正相关,与干物率、基部分枝数呈显著正相关;薯干产量与蔓薯比呈极显著负相关,与茎粗呈显著负相关。说明提高基部分枝数、控制茎粗、减小蔓薯比有利于甘薯产量形成。薯块干物率与最长蔓长、茎粗、

基部分枝数都呈负相关关系,其中与茎粗呈极显著负相关,说明甘薯地上部的旺盛生长不利于块根干物质的积累。

表6 甘薯干物质积累特性与地上部主要性状的相关性分析

Tab. 6 The correlations between dry matter accumulation character and stem and leaf

	生物产量 (kg/hm ²) Biomass	薯干产量 (kg/hm ²) Dry matter yield of storage roots	商品薯 率/% Commodity rate	薯块干 物率/% Dry matter content of storage roots	蔓薯比 Top/Root	经济系数 Economics coefficient	最长 蔓长/cm Vine length	茎粗/mm Stem diameter	基部分 支数/个 Branches number
生物产量/(kg/hm ²) Biomass	1								
薯干产量/(kg/hm ²) Dry matter yield of storage roots	0.873 **	1							
商品薯率/% Commodity rate	0.231	0.342	1						
薯块干物率/% Dry matter content of storage roots	0.181	0.483 *	0.319	1					
蔓薯比 Top/Root	-0.689 **	-0.922 **	-0.372	-0.482 *	1				
经济系数 Economics coefficient	0.665 **	0.922 **	0.373	0.517 *	-0.993 **	1			
最长蔓长/cm Vine length	0.207	0.038	0.058	-0.296	0.085	-0.115	1		
茎粗/mm Stem diameter	-0.372	-0.589 *	-0.314	-0.595 **	0.591 **	-0.608 **	0.002	1	
基部分支数/个 Branches number	0.644 **	0.570 *	0.191	-0.006	-0.34	0.346	0.041	-0.106	1

3 结论与讨论

3.1 氮钾配施和栽插密度对地上部干物质积累特性的影响

甘薯地上部茎叶的生长和光合功能的大小,直接关系到养分制造、分配和积累,对甘薯经济产量的形成有决定性的意义。甘薯干物质的形成与积累主要来自地上部绿色叶片制造的光合产物,光合产物在各器官之间的分配有一定的优先性,在不同的生长发育阶段,会优先分配给不同的优势器官。在甘薯生长的前期,光合产物主要用于地上部植株形态的构建,在块根形成与膨大的后期,干物质不断向地下部分转移,形成经济产量^[8-9]。

本试验结果表明,在甘薯生长的3个时期,施钾量对地上部茎叶干物质积累的影响均没有达到显著水平,而施氮量和栽插密度的影响有不同程度的显著效应,并且存在极显著的互作效应,可见,施氮量和栽插密度是影响地上部干物质积累的主要因素。生产实践中,通过合理的施肥量和适宜的栽插密度调控地下部、地上部协调生长,要求地上部干物质积累具有“前期高,中期稳,后期低”的特点,在本试验条件下,要控制氮肥用量(中-低氮),合理增施钾肥(中钾),保持一定的栽插密度(低密度),以实现干物质的合理分配,达到高产目的。

3.2 氮钾配施和栽插密度对地下部干物质积累特性的影响

甘薯是以收获块根为目的高产作物,甘薯产量的形成取决于植株干物质积累总量的大小和分配到

地下块根中的比例。本试验结果表明,在甘薯生长的3个时期,施氮量、施钾量和栽插密度3个因素对地下部干物质积累量均有显著影响,且施钾量和栽插密度有显著的互作效应;施钾量对后期干物含量的提高有显著影响,可见,施钾量和栽插密度是影响地下部干物质积累的主要因素,盲目增加施肥量和增加栽插密度不是科学合理的增产栽培措施。这些结果表明,生产上为了达到最大薯干产量,应适当控制施氮量(中-低氮),保持相应的施钾量(中-低钾)和适当的栽插密度(低密度)。甘薯是典型的喜钾作物,施用钾肥可调节植株的营养平衡,协调地上部与地下部的生长,增施钾肥可以增加干物质产量,可促进植株地上部干物质向块根的运转和分配,提高块根产量^[10-15]。氮素是甘薯生长重要的营养元素之一。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^[16-17]。本研究结果也表明,施氮量对前期植株形态建成,保持一定生长量至关重要,过高的施氮量不利于后期产量的形成;施钾量是影响甘薯块根干物质积累的重要影响因素,本研究进一步证明合理配施钾肥对提高甘薯产量的重要性,与前人研究结果基本一致。在本研究中,生长后期施钾量与栽插密度对甘薯块根干物质积累有极显著的互作效应,这表明在合理密植的基础上,后期增施钾肥有利于实现高产。

3.3 氮钾配施和栽插密度对甘薯主要农艺性状指标的影响

试验结果表明,本试验中不同肥密组合对甘薯

商品薯率影响效应无明显差异,但是施氮量、施钾量、栽插密度三者之间有显著的互作效应,可见,栽插密度过低和过高,施肥量过少或过多都不是提高商品薯率的正确措施,商品薯率的提高是三者综合作用的共同作用,这表明生产上通过不同氮钾肥配施和栽插密度来达到提高商品薯率有一定难度,通过片面地追求大薯而降低栽插密度或者不合理地增加栽插密度,都不利于提高产量和商品薯率。甘薯商品薯率可能与甘薯品种特性等因素有关,有待于进一步研究。蔓薯比(T/R值)的变化表明,植株养分向块根的分配情况。有研究表明,甘薯生长后期的理想蔓薯比是0.5~0.7。本研究中,不同肥密组合对甘薯蔓薯比影响效应均达极显著水平,低氮中钾低密度和低氮低钾低密度蔓薯比表现较小,栽插密度和氮钾肥的配和施用都能显著影响甘薯蔓薯比的变化。在本研究中可见,要控制氮肥用量(低氮),合理增施钾肥(中-低钾),保持一定的栽插密度(低密度),以实现最佳蔓薯比。过高的施氮量和过大的栽插密度不利于甘薯植株的养分向块根转移,合理适度的栽插密度是获得高产的基本保证。农艺性状间相关分析表明,薯干产量与基部分枝数呈显著正相关;与蔓薯比呈极显著负相关,与茎粗呈显著负相关。说明提高基部分枝数,控制茎粗,减小蔓薯比有利于甘薯产量形成。薯块干物率与最长蔓长、茎粗、基部分枝数都呈负相关关系,其中与茎粗呈极显著负相关,说明甘薯地上部的旺盛生长不利于块根干物质的积累。

总之,在本试验条件下,不同的氮、钾肥施用量和栽插密度对甘薯干物质积累和经济产量的形成有较大影响。其中低氮低钾低密度处理经济产量最高,蔓薯比最佳;在对块根干物质积累的影响中,施钾量>栽插密度>施氮量,且施钾量和栽插密度有显著的互作效应,施氮量和栽插密度是影响地上部干物质积累的主要因素。因此,生产中保持合理的栽插密度是获得高产的基本条件,欲通过增加栽插密度来获取超高产的可能性不大。从本试验来看,纯氮 120 kg/hm^2 、 K_2O 180 kg/hm^2 与栽插密度 $4.95\times 10^4\text{ 株/hm}^2$ 的肥密组合有利于苏薯15号发挥其高产潜力。

参考文献:

- [1] 江苏省农业科学院,山东省农业科学院主编. 中国甘薯栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [2] 林琪,石岩. 不同氮钾配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.
- [3] 王小晶,蔡国学,王洋,等. 氮磷钾分期施用对甘薯产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(7):188-192.
- [4] 尹子娟,郭华春,李存芝. 施钾对甘薯生长、产量及品质的影响[J]. 云南农业科技,2011,4:21-23.
- [5] 姚海兰,张立明,史春余,等. 施钾时期对甘薯植株性状及产量的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(4):82-85.
- [6] 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.
- [7] 谢一芝,郭小丁,贾赵东,等. 甘薯新品种苏薯15号的选育及栽培技术[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):188-189.
- [8] 杨艳敏,臧士国,张建平,等. 甘薯生长发育模拟模型的初步研究[J]. 河北农业大学学报,2004,11:8-12.
- [9] 张晓艳,刘锋,王风云,等. 甘薯干物质分配及产量形成模拟研究[J]. 中国农学通报,2008,24(12):505-510.
- [10] 贾赵东,马佩勇,郭小丁,等. 不同肥密条件处理对甘薯产量与干物质积累的影响[J]. 华北农学报,2011,26:121-125.
- [11] 杨新笋,周宏程,航,等. 不同钾肥施用量对鄂薯5号产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学,2007,46(2):208-209.
- [12] 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.
- [13] 邓日烈,温玉辉. 钾肥对甘薯产量影响的初探[J]. 佛山科学技术学院学报:自然科学版,2002,20(1):74-77.
- [14] Bourke R M. Influence of nitrogen and potassium fertilizer on growth of sweetpotato in Papua New Guinea[J]. Field Crops Research,1985,12:363-375.
- [15] 津野幸人,藤濑一马. The effect of potassium on the dry matter production of sweet potato[J]. 日作记,1964,33:236-241.
- [16] 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 sweetpotato[J]. J Am Soc Hort Sci,1984,109(3):294-298.
- [17] 王荫樨,胡兆盛. 甘薯需肥特性的研究[J]. 山东农业科学,1981(1):7-12.