

文章编号:1005-0906(1999)04-0057-04

氮钾互作对春玉米生物产量及其组分动态的影响*

金继运,何 萍

(中国农业科学院土壤肥料研究所,
农业部植物营养学重点开放实验室,北京 100081)

摘 要:采用田间小区试验方法研究了不同氮钾配比下春玉米生物产量及其组分动态。结果表明,不同氮钾配比下春玉米总生物量及粒重的增长均符合 Logistic 方程;营养体干重随时间的变化符合回归方程 $Y = axe^{bx}$;生物产量依子粒产量和营养体干重变化符合回归方程 $Y = \exp(a + b_1x_1 + b_2x_2)$ 。适宜的氮钾配比及施肥技术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子粒的转移,从而获得较高的子粒产量。

关键词:氮钾配比;春玉米;生物产量及其组分动态

中图分类号:S 513.062

文献标识码:A

为满足日益增加的人口对粮食增长的需求,必须不断提高农作物产量。大量研究表明,生物产量的提高是作物高产的基础,而施肥是调控生物产量及其组分动态转化的重要手段。玉米是我国主要粮食作物,其需肥量大,合理施肥对其高产十分重要。目前该方面的研究主要集中在施肥对玉米子粒产量的影响^[1,2],关于玉米不同基因型或栽培措施(密度及播期)对干物质积累模型的影响也有一些研究^[3,4]。而对于高产目标下,施肥对其生物产量尤其是各组分(包括营养体及子粒)干重的动态转化研究则较少。为此,本文拟对不同氮钾配比下春玉米生物产量及其组分作动态分析,以期揭示肥料用量影响玉米源库转化的特征,为高产施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验于 1997 年在吉林省公主岭市刘房子乡黑土上进行,供试土壤的基本农化性状为:有机质 2.13%,全 N 0.123%,速效 N 100.79 mg/kg,有效 P 11.67 mg/kg,速效 K 113.14 mg/kg, pH5.2。

1.2 试验设计

试验处理为 3 种施氮量和 3 种施钾量构成的组合,3 种施 N 量分别为 0、263 和 375 kg/hm²,3 种施 K₂O 量分别为 0、150 和 300 kg/hm²,包括 N₀K₀, N₀K₁₅₀, N₀K₃₀₀, N₂₆₃K₀, N₂₆₃K₁₅₀, N₂₆₃K₃₀₀, N₃₇₅K₀, N₃₇₅K₁₅₀ 和 N₃₇₅K₃₀₀ 等共 9 个处理。各处理均施 P₂O₅ 92 kg/hm²,随机排列,重复 3 次。

收稿日期:1998-10-19

作者简介:金继运(1950-),男,博士生导师,中国农业科学院土壤肥料研究所研究员,从事土壤、植物营养研究。

* “九五”国家重中之重科技攻关项目“玉米高产施肥与提高化肥利用率技术”资助。

氮肥分两次施用,其中 1/5 作基肥,4/5 作追肥。磷钾肥全部作基肥一次性施用,小区面积 30 m²。玉米品种为 97006,4 月 8 日施基肥,5 月 25 日出苗,6 月 24 日追肥,9 月 23 日收获,全生育期 121 d。在玉米不同生育期,即苗期(6 月 12 日)、拔节期(6 月 24 日)、大喇叭口期(7 月 10 日)、抽雄期(7 月 21 日)、吐丝期(8 月 11 日)、灌浆期(8 月 27 日)、蜡熟期(9 月 12 日)和成熟期(9 月 23 日)分别为出苗后 18,30,46,57,78,94,110,121 d,从各处理选取有代表性的玉米(97006)5~10 株(苗期 30 株),分别测定营养体和子粒等组分干重。

1.3 数据处理

采用 SPSS 统计软件对总生物产量、营养体和子粒等组分干重动态进行模拟及回归分析。

2 结 果

2.1 总生物产量动态

回归分析发现,不同氮钾用量组合下玉米总生物量(Y)依出苗后的天数(X)的变化可用 Logistic 方程 $Y = K/(1 + ae^{bx})$ 加以描述(表 1),并可根据该方程求得其最大增长速率及其出现日期。

表 1 玉米总生物量积累的 Logistic 方程回归分析

处 理	回归方程	r	最大增长 速率(g/d)	最大增长速率 出现于出苗后 的天数	平均增长 速率(g/d)
N ₀ K ₀	$Y = 263.6/(1 + 56.50e^{-0.046x})$	0.989	3.03	87.7	1.80
N ₀ K ₁₅₀	$Y = 295.8/(1 + 91.87e^{-0.058x})$	0.993	4.29	77.9	2.32
N ₀ K ₃₀₀	$Y = 267.9/(1 + 70.63e^{-0.054x})$	0.990	3.62	78.8	2.05
N ₂₆₃ K ₀	$Y = 316.4/(1 + 86.03e^{-0.057x})$	0.989	4.51	78.2	2.51
N ₂₆₃ K ₁₅₀	$Y = 381.9/(1 + 77.23e^{-0.057x})$	0.986	5.44	76.3	2.99
N ₂₆₃ K ₃₀₀	$Y = 339.7/(1 + 101.70e^{-0.060x})$	0.992	5.09	77.0	2.68
N ₃₇₅ K ₀	$Y = 284.8/(1 + 98.63e^{-0.060x})$	0.993	4.27	76.5	2.27
N ₃₇₅ K ₁₅₀	$Y = 341.2/(1 + 105.25e^{-0.061x})$	0.993	5.20	76.3	2.69
N ₃₇₅ K ₃₀₀	$Y = 321.5/(1 + 96.23e^{-0.057x})$	0.992	4.58	80.1	2.55

$$r_{0.01}(6) = 0.834$$

由表 1 可见,各施氮水平下,各施钾处理均以 K₁₅₀ 水平产量最高;各施钾水平下,各施氮处理均以 N₂₆₃ 水平产量最高,即 N₂₆₃K₁₅₀ 处理较为合理,其最大增长速率及平均增长速率大,最大增长速率出现日期提早。可见,只有氮钾配比适宜才能获得较高的生物产量,高量与低量施用氮和钾均导致生物产量下降。

2.2 子粒产量动态

表 2 玉米粒重增长的 Logistic 方程回归分析

处 理	回归方程	r	最大增长 速率(g/d)	最大增长速率 出现于出苗后 的天数	平均增长 速率(g/d)
N ₀ K ₀	$Y = 124.3/(1 + 27.43e^{-0.134x})$	0.998	4.16	102.9	2.89
N ₀ K ₁₅₀	$Y = 163.0/(1 + 36.70e^{-0.139x})$	0.999	5.67	103.9	3.32
N ₀ K ₃₀₀	$Y = 147.9/(1 + 28.28e^{-0.124x})$	0.999	4.59	105.0	2.61
N ₂₆₃ K ₀	$Y = 199.0/(1 + 20.02e^{-0.106x})$	0.995	5.27	106.3	3.75
N ₂₆₃ K ₁₅₀	$Y = 217.4/(1 + 32.80e^{-0.141x})$	0.999	7.66	102.8	4.59
N ₂₆₃ K ₃₀₀	$Y = 191.4/(1 + 39.91e^{-0.144x})$	1.000	6.89	103.6	4.02
N ₃₇₅ K ₀	$Y = 154.6/(1 + 25.08e^{-0.110x})$	0.998	4.25	107.3	2.95
N ₃₇₅ K ₁₅₀	$Y = 184.5/(1 + 16.89e^{-0.108x})$	0.996	4.98	104.2	3.64
N ₃₇₅ K ₃₀₀	$Y = 195.1/(1 + 19.99e^{-0.095x})$	0.995	4.63	109.5	3.39

$$r_{0.01}(2) = 0.990$$

不同氮钾组合下玉米粒重的变化亦可用 Logistic 方程描述。由表 2 可见,玉米粒重最大增长速率、平均增长速率及最大增长速率出现日期各处理间的比较呈现与生物产量十分相同的规律性,即 $N_{263}K_{150}$ 处理最大增长速率及平均增长速率大,最大增长速率出现日期提早。可见,适宜的氮钾配比可通过影响生物产量动态,进而影响到子粒产量,其又可通过延长子粒灌浆时间,增加光合产物由“源”向“库”的转化。但在本试验条件下,经统计检验,氮钾互作($N \times K$)下的子粒产量差异不显著。

2.3 营养体干重变化动态

回归分析显示,各处理营养体干重依出苗后天数变化可用因归方程 $Y = axe^{bx}$ 加以描述(表 3),其最大值由 $Y_{max} = -a/be$ 求得。由出苗到最大值需的时间为干重增长期,从最大值下降到成熟所需的时间为干重下降期,其下降的平均强度为下降速率。

各施肥处理中, $N_{263}K_{150}$ 处理营养体干重最大值出现最早,且干重下降速率快,有利于营养生长向生殖生长转化,光合产物能有效地向子粒转移,而其它处理因各参数不协调而不利于光合产物由“源”向“库”的转移,尤其是高氮处理虽然获得了较大的营养体干重,终因干重最大值出现较晚及下降速率较低使得光合产物未能及时向子粒中转移。可见,适宜的氮钾配比可直接影响到玉米营养生长与生殖生长之间的协调性。

表 3 营养体干重变化的回归分析

处 理	回归方程	r	干重增长期	最大值 (g/株)	下降速率 (g/d)	成熟期干重 (g/株)
N_0K_0	$Y = 3.861xe^{-0.0134x}$	0.950	102.1	106.2	0.17	103c
N_0K_{150}	$Y = 6.732xe^{-0.0125x}$	0.969	65.8	168.3	0.66	132bc
N_0K_{300}	$Y = 5.175xe^{-0.0140x}$	0.955	80.0	134.5	0.40	118c
$N_{263}K_0$	$Y = 7.132xe^{-0.0152x}$	0.973	70.9	167.7	0.57	139b
$N_{263}K_{150}$	$Y = 8.805xe^{-0.0153x}$	0.980	63.7	213.5	0.93	160a
$N_{263}K_{300}$	$Y = 7.861xe^{-0.0151x}$	0.973	66.2	191.5	0.81	147ab
$N_{375}K_0$	$Y = 4.756xe^{-0.0110x}$	0.970	90.9	159.1	0.37	148ab
$N_{375}K_{150}$	$Y = 5.691xe^{-0.0114x}$	0.947	87.7	183.7	0.53	166a
$N_{375}K_{300}$	$Y = 4.297xe^{-0.0097x}$	0.950	103.1	162.9	0.39	156ab

$r_{0.01}(2) = 0.950, LSD_{0.05} = 20.1, n = 3$

2.4 生物产量与营养体干重和子粒产量动态变化的关系

表 4 玉米生物产量的回归分析

处 理	回归方程	r	生物产量 (g/株)	子粒产量 (g/株)	收获指数
N_0K_0	$Y = \exp(3.57 + 0.007x_1 + 0.011x_2)$	0.998	218e	115e	0.528
N_0K_{150}	$Y = \exp(4.19 + 0.005x_1 + 0.006x_2)$	0.998	281c	149c	0.530
N_0K_{300}	$Y = \exp(3.88 + 0.006x_1 + 0.008x_2)$	0.998	248d	130d	0.524
$N_{263}K_0$	$Y = \exp(4.15 + 0.005x_1 + 0.006x_2)$	0.997	304bc	165bc	0.543
$N_{263}K_{150}$	$Y = \exp(4.22 + 0.004x_1 + 0.005x_2)$	0.999	362a	202a	0.558
$N_{263}K_{300}$	$Y = \exp(4.17 + 0.004x_1 + 0.006x_2)$	0.999	324b	177b	0.546
$N_{375}K_0$	$Y = \exp(3.97 + 0.005x_1 + 0.007x_2)$	0.999	275c	127de	0.462
$N_{375}K_{150}$	$Y = \exp(4.19 + 0.004x_1 + 0.006x_2)$	0.999	326d	160bc	0.491
$N_{375}K_{300}$	$Y = \exp(3.96 + 0.005x_1 + 0.007x_2)$	0.999	302bc	146cd	0.483

$r_{0.01}(2) = 0.990$

生物产量: $LSD_{0.05} = 26.2, n = 3$; 子粒产量: $LSD_{0.05} = 17.6, n = 3$

为探明生物产量依子粒产量和营养体干重变化的总体趋势,对总生物产量与子粒产量和营养体干重动态进行回归分析(表 4),结果显示其符合回归方程 $Y = \exp(a + b_1x_1 + b_2x_2)$ ($Y, x_1,$

x_2 分别代表生物产量、子粒产量和营养体干重)。各处理的回归方程及其偏回归系数的检验均达到极显著水平,进一步表明子粒产量、营养体干重与生物产量间具有极为密切的关系。 $N_{263}K_{150}$ 处理由于其粒重增长速率快、营养体干重最大值出现较早且下降速率快而获得较高的生物产量和收获指数(表 4)。而 N_0K_0 处理由于氮钾供应不足,粒重增长速率慢,营养体干重最大值出现迟且下降速率慢(表 2,表 3),因而生物产量和收获指数均较低(表 4)。因此,玉米生产中,应注意充分发挥氮钾营养互作作用,使得较大的营养体干重下降速率与较大的粒重增长速率相结合。

3 讨论与结论

佟屏亚等^[3]研究表明,不同播期与栽培密度下夏玉米干物质积累遵循双 Logistic 方程 $y = k/[1 + a \ln(k \cdot t - t)]$ (y 代表干物质重, t 为时间变量, a 和 b 为参数, k 为最大生长量)。本研究表明,不同氮钾配比下春玉米总生物量及粒重的增长均符合 Logistic 方程。可见,玉米干物质积累的数学模型因试验条件而异,但不同施肥量下干物质积累的趋势是相同的。本项研究还进一步得出,不同氮钾配比下营养体干重随时间的变化符合回归方程 $Y = axe^{bx}$, 总生物产量依子粒产量和营养体干重变化符合回归方程 $Y = \exp(a + b_1x_1 + b_2x_2)$ 。

Damisch^[5]认为,通过增加小麦开花前的生物量潜力和保持子粒灌浆期高生长速率,达到高产和稳产是可能的。肖世和等^[6]在大田条件下研究了 12 个小麦品种开花后生物量及其组分的动态变化,发现子粒灌浆期和灌浆速率以及营养体干重动态都会影响成熟期的生物产量,认为开花期生物产量高、灌浆速率快、营养体干重速降期结束迟是协调提高生物产量和收获指数的必要条件。张洪全等^[7]研究表明,春玉米最大灌浆速率、平均灌浆速率随追氮量增加而增大,最大灌浆速率出现日期提前,千粒重增大。本研究表明玉米子粒产量与粒重增长速率和营养体干重下降速率密切相关。氮钾配比合理情况下生物产量和子粒最大增长速率增大,最大增长速率出现日期提早,营养体干重最大值较大且出现较早,下降速率大。因此,玉米高产实践中,应注意合理调控氮钾用量及其比例,使玉米生育前期生物量快速积累,生育后期较大的营养体干重下降速率与较大的粒重增长速率相结合,达到光合产物有效地从营养体向子粒的转移,从而获得较高的子粒产量。

本试验条件下,春玉米氮、钾适宜用量分别为 $N_{263} \text{ kg/hm}^2$ 和 $K_2O \ 150 \text{ kg/hm}^2$,二者适宜配比为该两种用量的组合。

参 考 文 献

- [1] 吴盛黎. 高原玉米叶龄追肥与增库促源的研究. 贵州农学院学报, 1995, 14(3): 1-7.
- [2] 曹敏建. 钾对玉米叶片物质代谢及产量的影响. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(1): 7-16.
- [3] 佟屏亚, 凌碧莹. 夏玉米干物质累积动态模拟. 北京农业科学, 1996, 14(5): 21-24.
- [4] Ramachandra TV, Krishnamurthy K, Kailasam C. Functional crop and cob growth models of maize (*Zea mays* L.) cultivars. J Agronomy and Crop Sci., 1992, 168: 208-221.
- [5] Damisch W. Biomass yield-atopical issue in modern wheat breeding programmes. Plant Breeding, 1996, 107: 11-17.
- [6] 肖世和, 陈孝. 小麦开花后生物产量及其组分的动态分析. 作物学报, 1995, 21(2): 155-160.
- [7] 张洪全, 齐沛君. 春玉米子粒灌浆及产量构成因素与追氮量关系研究. 玉米科学, 1994, 2(4): 56-58.

(下转第 72 页)

Dynamics of Biomass and its Components of Spring Maize as Affected by Nitrogen and Potassium Interaction

JIN JI-YUN HE PING

*(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Key laboratory of
Plant nutrition Research, MOA, Beijing 100081 China)*

Abstract: Field trial was conducted to analyze the dynamise of biomass yield and its components (grain and vegetative yield) of spring maize under different ratios of nitrogen to potassium. The results indicated that the dynamic changes of total bio - mass and grain weight in maize under different ratio of nitrogen and potassium could be described by Logistic curve equation, and that of grain yield(X_1) and vegetative yield(X_2), as described by regression equation of $Y = \exp(a + b_1x_1 + b_2x_2)$. The increasing duration and increasing rate of bio - mass yield and grain weight, and the increasing duration of vegetative yield and its decreasing rate were obviously influenced by different ratios of N to K. Rational ratio of N to K and their appropriate application rate did not only accelerate the accumulation of total bio - mass in earlier growth stage, but also stimulated the rapid transformation of vegetative dry matter to grain in later growth stage, resulting in high grain yields.

Key words: Ratios of N to K; Spring maize; Grain yield; biomass yield; Dynamic