

不同水氮磷钾耦合条件下 玉米干物质与养分累积动态变化

贺冬梅¹, 张崇玉²

(1. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: 采用盆栽正交设计方案, 研究不同水、氮、磷、钾耦合处理玉米干物质、养分N、P、K吸收累积的动态变化。结果表明, 不同水、氮、磷、钾耦合条件下, 玉米干物质、养分累积量随玉米生育期的延长而增加, 累积趋势都呈“S”型曲线, 可用指数方程 $y = a \exp(-b/t)$ 拟合。玉米干物质累积速率和养分累积速率用 $y = a \exp(-b/t)$ 求导可得, 最大累积速率出现的时间可对指数方程 $y = a \exp(-b/t)$ 求二阶导数得出。不同处理玉米干物质累积最大速率出现时间为玉米出苗后 33.56~68.06 d, N 累积最大速率出现时间为出苗后 14.73~64.19 d, P 累积最大速率出现时间为出苗后 45.23~80.64 d, K 累积最大速率出现时间为出苗后 18.80~53.91 d。

关键词: 水、氮、磷、钾耦合; 干物质累积; 养分累积

中图分类号: S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0124-04

水肥是发展农业生产的主要限制因素, 许多人对此进行过长期研究, 但多偏重于单效应方面, 而在水肥交互作用及其耦合模型则研究很少^[1], 近年来已引起人们的注意。

玉米是我国主要粮食作物, 水肥供应对玉米生长和产量形成具有显著影响, 且该影响与生育期有关^[2]。大量研究表明^[3,4], 生物产量的提高是作物高产的基础, 而合理的水肥配比是调控生物产量及其组分动态转化的重要手段。由于水分和养分之间存在复杂的交互作用, 水分和养分的供应会影响玉米的干物质和养分累积的状况, 进而影响玉米的产量。玉米的养分累积, 实际上是指玉米从土壤中吸收有机质和养分的过程, 其中 N、P、K 和有机质的吸收是玉米养分累积中最重要的部分^[5]。贵州省雨量丰富, 季节分配不均, 喀斯特山区的土壤保水能力差, 全省每年玉米生产不同程度发生春旱和伏旱威胁^[6], 以至严重影响作物产量。本试验通过盆栽研究不同水肥耦合情况下玉米干物质和养分累积的动态变化, 为进一步提高玉米产量和水分利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究试验地点位于贵州大学南区教学盆栽

场, 供试土壤为黄壤, 有机质含量为 3.77 g/kg, 全氮 0.190%, 全磷 1.498 g/kg, 全钾 9.495 g/kg, 碱解氮 181.02 mg/kg, 速效磷 35.66 mg/kg, 速效钾 354.7 mg/kg, pH 值 7.03, 最大土壤持水量为 38.52%。

1.2 试验设计

水、氮、磷、钾耦合试验在贵州大学南区教学盆栽场的防雨棚内进行。供试品种为安单 136 号, 2006 年 4 月 30 日播种, 2006 年 5 月 9 日出苗, 玉米整个生长期严格控制土壤含水量, 并于各生育时期测定玉米的根、茎、叶、果实干重和根、茎、叶、果实的养分含量。

盆栽试验采用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交设计方案, 总处理数为 9 个(见表 1), 各处理重复 7 次。除灌水量和施肥量按照上述处理实施以外, 其余管理措施相对一致, 试盆置于防雨棚内。

1.3 测定方法

全氮采用凯氏定氮法, 碱解氮采用碱解扩散法, 全磷采用硫酸、高氯酸消化-钼锑抗比色法, 速效磷采用碳酸氢钠浸提法, 全钾采用酸溶原子发射光度法, 速效钾采用乙酸铵浸提原子发射光度法, 有机质采用重铬酸钾氧化外加加热法, 土壤持水量采用威尔科克斯环刀法, 植株氮磷钾硫酸双氧水消煮, 植株氮采用凯氏定氮法, 植株磷采用钒钼黄比色法, 植株钾采用火焰光度法^[7]。

收稿日期: 2007-09-21

基金项目: 贵州省科学技术基金(黔科合 20052026); 贵州省十一五重大专项[(黔科合 N2)字(2005)3001]

作者简介: 贺冬梅(1981—), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养。

通讯作者: 张崇玉(1960—), 男, 教授。E-mail: zhcy60@hotmail.com.

表 1 盆栽试验方案
Table 1 Testing program cultivated in pot

编号 Number	处理 Treatment	土壤持水量 Soil moisture capacity W	肥料用量(g/pot) Amount of fertilizer applied		
			N	P	K
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	60%	1.59	0.8	0.63
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	60%	2.38	1.2	0.96
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	60%	3.18	1.6	1.26
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	80%	1.59	1.2	1.26
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	80%	2.38	1.6	0.63
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	80%	3.18	0.8	0.96
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	100%	1.59	1.6	0.96
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	100%	2.38	0.8	1.26
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	100%	3.18	1.2	0.63

2 结果与分析

2.1 不同水、氮、磷、钾耦合玉米干物质累积动态

回归分析发现,以干物质累积量作纵坐标,以出苗天数作横坐标,不同处理的干物质累积曲线图形接近“S”形,符合干物质累积的一般规律,可用指数方程 $y = a \exp(-b/t)^{[8]}$ 拟合,式中, y 为干物质累积量(g/株); t 为出苗后的时间(d); a, b 为待定参数, a, b 由 DPS 统计软件求得,获得的回归方程经 F 检验均达显著水平。不同处理的干物质累积曲线类似,仅以处理 7 的干物质累积曲线表示其变化趋势。

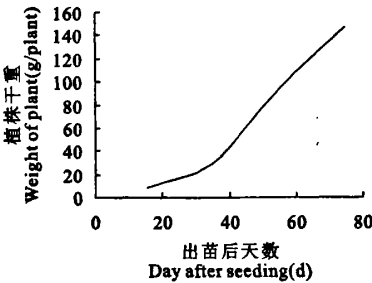


图 1 处理 7 干物质累积曲线
Fig.1 Dry matter accumulation curve of treatment 7

由上述方程(表 2)可以看出, b 对 y 影响有限,而 a 却有明显差别,说明不同水肥耦合对玉米干物质累积动态变化有显著影响。

2.2 不同水、氮、磷、钾耦合玉米干物质累积速率

表 2 中的指数方程对时间求一阶导数,可得出干物质累积速率方程

$$dy/dt = ab \exp(-b/t)/t^2 \tag{1}$$

式中, dy/dt 为干物质累积速率; t 为出苗后天数。对公式(1)求二阶导数:

$$d^2y/dt^2 = ab(-2 + b/t) \exp(-b/t)/t^3 \tag{2}$$

根据公式(1)、(2)可得出干物质累积的最大速率和出现最大速率的时间,当 $d^2y/dt^2 = 0$ 时(即拐点斜率为 0),则为干物质最大累积速率,当 $t = b/2$ 时,为出现最大累积速率的时间,此时干物质累积的最大速率为 $4a \exp(-2)/b$,根据表 2 中 a, b 的数据,可得到各处理干物质累积的最大速率和出现最大速率的时间(表 3)。

表 2 干物质累积量与时间关系的回归方程
Table 2 Regression equations of relationship between dry matter accumulation and time

编号 Number	处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R ²
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	$y = 535.42 \exp(-136.12/t)$	0.9893
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	$y = 219.01 \exp(-97.87/t)$	0.9875
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	$y = 161.53 \exp(-80.12/t)$	0.9699
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	$y = 407.09 \exp(-91.97/t)$	0.9846
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	$y = 287.92 \exp(-82.25/t)$	0.9830
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	$y = 425.08 \exp(-95.98/t)$	0.9871
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	$y = 683.31 \exp(-109.94/t)$	0.9828
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	$y = 271.22 \exp(-67.12/t)$	0.9919
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	$y = 399.45 \exp(-87.17/t)$	0.9886

表 3 玉米干物质累积最大速率出现时间和最大速率

Table 3 The time for maximum accumulation of dry matter and maximum rate of maize

编号 Number	处理 Treatment	出现最大速率时间 The time for maximum accumulation(d)	最大速率 maximum rate {g/(d·株)}
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	68.06	2.129
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	48.94	1.211
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	40.06	1.091
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	45.99	2.396
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	41.13	1.895
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	47.99	2.398
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	54.97	3.365
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	33.56	2.187
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	43.59	2.481

由表 3、图 2 分析可得出,处理之间出现最大速率的时间有差异,但总趋势基本一致。这些速率均呈左偏斜钟形结构,前期陡然上升,至高峰后缓慢下降^[9]。干物质累积最大速率出现日期最早的为处理 8(W₃N₂P₁K₃),且下降的幅度最大,最晚的为处理 1(W₁N₁P₁K₁),在低水(W₁)条件下,最大速率出现的时间随肥料的增加而缩短,这说明肥料的供应

不足严重限制了玉米的生长,这与何萍^[10]等的研究是一致的。在中水(W₂)条件下,最大速率出现的时间随磷肥施用量的增加而呈降低趋势,而氮和钾无明显变化趋势,这可能与氮和钾的耦合作用有关。在高水(W₃)条件下,最大速率出现的时间随磷肥施用量的增加而呈升高趋势,这说明高水(W₃)条件下,水和磷之间存在抑制作用,使其速率最大值出现较晚,即处理 7(W₃N₁P₃K₂)。

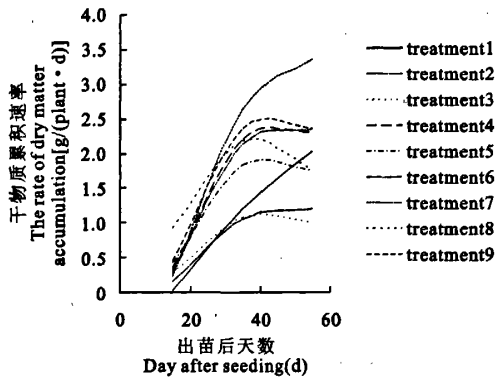


图 2 干物质累积速率

Fig. 2 Changing rate of dry matter accumulation

2.3 不同水、氮、磷、钾耦合玉米 N、P、K 养分累积动态

回归分析发现,玉米养分累积动态变化曲线与干物质累积曲线十分相似,同样可用指数方程 $y = a \exp(-b/t)$ 拟合,经 DPS 统计软件求 a 、 b 值,获得的回归方程经 F 检验均达显著水平。各处理 N、P、K 的养分累积回归方程列于表 4~6。

表 4 植株氮累积量与时间关系的回归方程

Table 4 Regression equations of relationship between N accumulation and time

编号 Number	处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R ²
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	$y = 4.64 \exp(-128.37/t)$	0.9581
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	$y = 0.60 \exp(-54.53/t)$	0.9327
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	$y = 0.41 \exp(-29.46/t)$	0.9427
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	$y = 0.97 \exp(-36.73/t)$	0.9221
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	$y = 0.73 \exp(-36.29/t)$	0.9784
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	$y = 1.34 \exp(-56.20/t)$	0.9537
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	$y = 1.08 \exp(-41.43/t)$	0.9362
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	$y = 1.73 \exp(-57.36/t)$	0.9905
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	$y = 1.015 \exp(-40.71/t)$	0.9776

2.4 不同水、氮、磷、钾耦合玉米 N、P、K 养分累积速率

对养分累积量与时间的回归方程求一阶导数,则为养分累积速率方程,对养分累积速率方程求导数,可求出养分累积速率最大时的时间(原理同 2.2)。根据表 4、5、6 中的方程求 N、P、K 累积速率最大时的时间。

表 5 植株磷累积量与时间关系的回归方程

Table 5 Regression equations of relationship between P accumulation and time

编号 Number	处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R ²
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	$y = 3.17 \exp(-161.28/t)$	0.9952
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	$y = 1.32 \exp(-125.51/t)$	0.9935
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	$y = 0.83 \exp(-99.93/t)$	0.9896
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	$y = 2.11 \exp(-114.23/t)$	0.9826
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	$y = 1.65 \exp(-108.87/t)$	0.9884
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	$y = 2.14 \exp(-117.10/t)$	0.9925
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	$y = 2.77 \exp(-122.93/t)$	0.9882
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	$y = 1.38 \exp(-90.45/t)$	0.9921
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	$y = 1.56 \exp(-98.87/t)$	0.9916

表 6 植株钾累积量与时间关系的回归方程

Table 6 Regression equations of relationship between K accumulation and time

编号 Number	处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R ²
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	$y = 12.85 \exp(-107.82/t)$	0.9808
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	$y = 4.99 \exp(-67.72/t)$	0.9889
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	$y = 4.83 \exp(-62.94/t)$	0.9821
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	$y = 9.84 \exp(-63.01/t)$	0.9676
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	$y = 3.95 \exp(-37.61/t)$	0.9996
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	$y = 7.15 \exp(-53.48/t)$	0.9940
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	$y = 6.77 \exp(-51.90/t)$	0.9690
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	$y = 6.63 \exp(-42.90/t)$	0.9999
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	$y = 7.84 \exp(-53.78/t)$	0.9945

由表 7 可知,N、P、K 累积最大速率出现时间最早的处理分别为 3(W₁N₃P₃K₃)、8(W₃N₂P₁K₃)、5(W₂N₂P₃K₁),出现最晚的均为处理 1(W₁N₁P₁K₁)。低水(W₁)条件下,随施肥量的增加,养分累积速率出现的时间均呈缩短的趋势;中水(W₂)条件下,N 累积最大速率出现的时间随施磷量的增加而缩短,这可能是因为 N、P 之间的协同作用,目前对这一机理尚不明确,P 累积最大速率出现的时间随所施磷肥的增加而缩短,K 累积最大速率出现的时间随所

施钾肥的增加而延长;高水(W₃)条件下,N累积最大速率出现的时间随施钾量的增加而延长,这说明玉米对N、K的吸收可能存在竞争作用,P累积最大速率出现的时间随施磷量的增加而延长,K累积最大速率出现的时间随所施钾肥的增加而延长。

表7 养分累积最大速率出现时间

Table 7 The time for maximum rate of nutrient accumulation

编号 Number	处理 Treatment	时间 Time(d)		
		N	P	K
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	64.19	80.64	53.91
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	27.27	62.75	33.86
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	14.73	49.96	31.47
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	18.37	57.11	31.51
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	18.15	54.44	18.80
6	W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	28.10	58.55	26.74
7	W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	20.72	61.47	25.95
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	28.68	45.23	21.45
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	20.36	49.44	26.89

3 讨论

作物生物量的累积量与养分的累积有着密切的关系,养分累积是生物量累积的基础,也是作物产量形成的基础^[11]。不同水、氮、磷、钾耦合条件改变了玉米干物质和养分的累积量,而对养分累积动态变化趋势的影响不大。本研究表明,玉米干物质和养分积累的数学模型因试验条件而异,但不同水、氮、磷、钾耦合条件下干物质和养分积累的总体变化趋势是相同的,这与金继运^[12]等的研究是相一致的。

宋海星^[1]等研究认为,氮、磷、钾吸收最大速率出现时间以钾最早,且均早于干物质最大速率出现时间。本研究表明,不同水、氮、磷、钾耦合条件下,玉米对养分吸收累积速率最大出现的时间以氮最早,其次为钾,磷最晚,这可能是因为本试验供试土壤速效钾的含量高,所以钾效应不显著。

本试验条件下,养分累积量大小顺序是K>N>P,而张颖^[13]、佟屏亚^[14]等认为,氮累积量大于钾,这可能与该试验供试土壤的全钾和速效钾含量高有关。

4 结论

1) 不同水、氮、磷、钾耦合试验表明,玉米干物质和养分的累积量的动态变化与时间曲线图形接近

“S”形,可用指数方程 $y = a \exp(-b/t)$ 拟合。

2) 玉米干物质累积速率和养分累积速率可用指数方程 $y = a \exp(-b/t)$ 求得,同时该指数函数是连续函数,又有一阶导数存在,因而必有二阶导数。利用这一数学性质,可求得出干物质和养分最大累积速率的时间和瞬时速率。

3) 该试验研究表明,不同处理玉米干物质累积最大速率出现时间为玉米出苗后 33.56~68.06 d, N累积最大速率出现时间为出苗后 14.73~64.19 d, P累积最大速率出现时间为出苗后 45.23~80.64 d, K累积最大速率出现时间为出苗后 18.80~53.91 d。

参考文献:

- [1] 吕殿青,刘军,李瑛,等.旱地水肥交互效应与耦合模型研究[J].西北农业学报,1995,4(3):72-76.
- [2] 高亚军,李生秀,田霄鸿,等.不同供肥条件下水肥分配对旱地玉米产量的影响[J].作物学报,2006,32(3):415-422.
- [3] 江立庚,甘秀芹,韦善清,等.水稻物质生产与氮、磷、钾、硅素积累特点及其相互关系[J].应用生态学报,2004,15(2):226-230.
- [4] 彭显龙,刘元英,罗盛国,等.实地氮肥管理对寒地水稻干物质积累和产量的影响[J].中国农业科学,2006,39(11):2286-2293.
- [5] 邓日烈,王蕴波,黄龙飞.不同播期对甜玉米籽粒N、P、K及可溶性糖的积累的影响研究[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2005,23(3):58-61.
- [6] 钱晓刚,李家敏,何金钊,等.贵州省常用杂交玉米品种萌芽期抗旱性评价研究[J].种子,2004,23(12):32-34.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [8] 宋海星,李生秀.玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J].中国农业科学,2003,36(1):71-76.
- [9] 宋海星,李生秀.不同水、氮供应条件下夏玉米养分累积动态研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):399-403.
- [10] 何萍,金继运,林葆,等.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[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):123-130.
- [11] 赵营,同延安,赵护兵.不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):622-627.
- [12] 金继运,何萍.氮钾互作对春玉米生物产量及其组分动态的影响[J].玉米科学,1999,7(4):57-60.
- [13] 张颖.不同产量类型玉米养分吸收特点及其分配规律的研究[J].玉米科学,1997,5(3):70-72.
- [14] 佟屏亚,凌碧莹.夏玉米氮、磷、钾累积和分配态势的研究[J].玉米科学,1994,2(2):65-69.

(英文摘要下转第137页)

Effects of exogenous 5 - amino levu linic acid on the yield and quality of Leaf-used lettuce at sunlight greenhouse

XU Ming, XU Fu-li

(Northwest A & F University, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,
Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The field experiment was carried out at sunlight greenhouse to study the effect of 5 - amino levu linic acid (ALA) and 5 - amino levu linic acid + N (ALA + N) on the growth, yield and quality of leaf-used lettuce. The results showed that ALA and ALA + N enhanced the photosynthesis, chlorophyll, yield of leaf-used lettuce and improved the quality of leaf-used lettuce. ALA and ALA + N of all the treatments were significantly better than the control ($P < 0.01$) in the photosynthesis and yield of leaf-used lettuce, ALA + N treatment was the best in all the treatments, the photosynthesis and yield of leaf - used lettuce increased by 34.7% and 41.6%. ALA and ALA + N improved the content of chlorophyll and quality of leaf-used lettuce, there was the most significant increase the content of chlorophyll and quality of leaf-used lettuce compared to the control. The study indicated that the application of ALA and ALA + N increased the yield and quality of leaf-used lettuce and there was no significant difference among them.

Keywords: 5 - amino levu linic acid; leaf-used lettuce; photosynthetic characteristics; chlorophyll; yield

(上接第 127 页)

Dynamic varieties of dry matter and nutrient accumulation in maize plants under different water and N、P、K supply condition

HE Dong-mei¹, ZHANG Chong-yu²

(1. College of Agriculture of Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. College of Life Science of Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: The effects of different water and N、P、K supply on the dynamics of N, P and K uptake and accumulation were studied by pot experiment with the design of orthogonal. The results showed that the dry matter and nutrient accumulation were continuously increased with plant growth, and their accumulation in different plant-growing periods were shaped in S curves that could be described by the exponential regression equations. The momentary rate of the dry matter and nutrient uptake was obtained by the regression equations for the first derivatives. At the same time, the time for the maximum absorptive rate was obtained by the regression equations for the second derivatives. The time for accumulation of maximum dry matter is 33.56~68.06 d after the maize emergence, the times for accumulation of N, P, K are 14.73~64.19, 45.23~80.64, 18.80~53.91 d respectively.

Keywords: coupling of water and N、P、K; dry matter accumulation; nutrient accumulation; dynamic variety