

冬小麦产量形成的干物质模式

武金岗 高 苹 汤志成 陶炳炎

(江苏省气象局, 南京 210008)

提 要

针对徐淮地区冬小麦的生长情况,建立了冬小麦总生物量与气象条件综合因子逐日蒸发量的增长模式,并在引进三种群生态模型基础上,结合穗茎叶之间关系,研制出穗茎叶干物质相互作用模式。用数学方法研究了冬小麦干物质形成的规律,对生长模拟具有实际参考价值。

关键词: 冬小麦 总干物质 穗茎叶相互作用模式

引 言

研究作物产量形成,从干物质积累过程入手同样是一条重要途径。小麦干物质积累的多少取决于小麦群体的生长和发育状况。一般来说,具有健壮或发育正常的小麦群体,能够积累较适量的干物质,而发育差的小麦群体,营养状况差,积累的干物质也就少。在干物质积累的过程中,气象条件的影响是很显著的,适宜的气象条件可促进干物质的形成,恶劣的气象条件会阻碍干物质的形成,导致积累的减少,从而影响产量。本文旨在从穗、茎、叶干物质的相互转换方面入手,探讨冬小麦产量的后期形成过程。

1 资料来源

所用资料取自江苏省三麦气象研究协作组的部分田间试验资料,主要为1982—1985年徐州、灌云两地的分期播种资料中的总干物重和穗、茎、叶分器官干物重资料。供试品种为半冬性品种小麦济南13号,每年4个播期分别为9月30日,10月10日,10月20日和10月31日。气象资料采用当地气象台站平行观测的气象记录。

2 总干重增长模式

小麦拔节后,从以营养生长为主过渡到

以生殖生长为主的阶段,此时,植株高度迅速增加,叶面积指数扩大,光合作用增强。小麦群体干物质积累逐日增多,为生物学产量形成的关键时期,亦是籽粒产量形成和确定的主要阶段。小麦干物质的积累过程可用生态学生态学的种群变化规律进行模拟^[1]。

小麦总生物量增加,除具有自身生长规律外,还受到环境条件尤其是气象条件的影响。气象条件对小麦干物质积累的影响,主要反映在气象条件的综合作用上^[2,3]。结合徐州实际情况,采取代表气象条件综合作用的因子——逐日蒸发量,作为影响小麦总干物质增长的指标,代入模式参数,模式形式为:

$$W_T(i+1) = W_T(i)[1 + R_0 + R_1 EP(i)] \cdot [1 - (W_T(i)/K_0)^Q]$$

其中, $W_T(i)$ 、 $W_T(i+1)$ 为拔节后第*i*、*i*+1天总干重, $EP(i)$ 为5日滑动平均蒸发量; R_0 、 R_1 为增长率参数, K_0 为 $W_T(i)$ (即总干物重)的理论上限参数, Q 为非线性密度制约参数。

利用可变误差多面体法^[4],对徐州1982—1984年度共8个播期总干重资料进行参数调试,得参数如表1。

表1 总干重模式参数

播期	R_0	R_1	K_0	Q	误差/%
早播	9.0×10^{-3}	6.0×10^{-4}	2.7×10^3	5.0×10^{-1}	1.6
晚播	1.4×10^{-1}	2.0×10^{-4}	2.5×10^3	5.0×10^{-1}	3.7

将 1984—1985 年度冬小麦拔节时总干重和蒸发量资料代入上述模式,得到结果如图 1。图中为 9 月 30 日播期资料,其它播期趋势一致(图略)。由于模拟过程中引入了代表综合气象条件的蒸发量因子,所以模拟过程是有效的,模拟效果也是不错的。

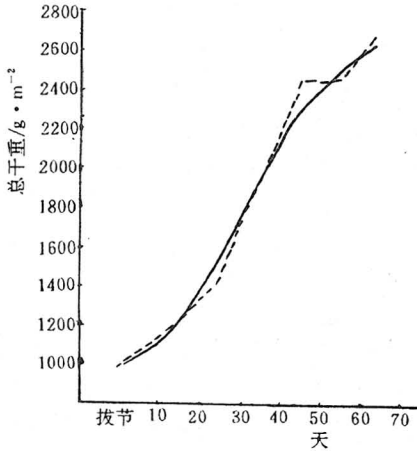


图 1 总干重模式的模拟效果

虚线为实测值,实线为模拟值

各播期拔节时总干重和最终总干重不尽相同,但它们所遵循的变化规律一致,可用上述模式,结合气象条件综合影响,反映总干重动态变化。

在得到总干重模拟基础上,依据徐州各播期不同的经济系数,将生物学产量转化为经济产量(即模拟产量),结果见表 2。经济产量模拟误差,晚播大于早播。小麦生长发育和产量形成过程受播期影响较大,晚播小麦表示有异于正常生长的特点,是误差较大的主要原因。

表 2 产量模拟结果/kg · ha⁻¹

播期	a	b	c	d
实际产量	8100.0	7659.0	11307.0	6008.3
模拟产量	7920.8	7437.8	10770.8	6374.3
误差/%	-2.2	-2.8	-4.7	+6.1

3 穗茎叶干物质相互作用模式

小麦抽穗开花后,进入籽粒灌浆成熟阶段,这是小麦产量形成的又一关键时期。叶面积指数最大,群体光合能力很强,光合产物迅速积累。处于营养生长阶段茎秆、叶鞘积累的

干物质,此时源源不断地向穗部转移。

为更深刻地揭示小麦产量形成过程和机制,反映产量形成后期植株干物质动态变化,本文根据种群数学生态学中三种群 Volterra 模型^[5-7],简单地讲就是在一个多种群生态系统中,由于存在物质流的转移和交换,每一种群的生长和变化过程除了受到自身生长过程的限制以外,还受到其它种群的生长和变化过程的影响或制约,或促进,或削弱,这样复杂的多种群变化过程用数学方法表示、描述即形成了多种群数学模型。在小麦产量形成过程中,尤其到了产量形成的后期,穗、茎、叶干物质变化与三种群变化规律有相似之处,因而可以将三种群理论引进穗、茎、叶三个器官的干物质变化过程中,以便更加细致地研究干物质后期的转移和形成规律,帮助弄清干物质形成的内部机制。结合穗茎叶之间关系,穗为干物质汇,茎、叶为干物质源,分析抽穗开花后穗、茎、叶干物质相互作用,以此建立三者相互作用模式:

$$(1/W_E) \cdot dW_E/dt = E_0$$

$$-E_1W_E + E_2W_S + E_3W_L \quad (1)$$

$$(1/W_S) \cdot dW_S/dt = S_0$$

$$-S_1W_E - S_2W_S + S_3W_L \quad (2)$$

$$(1/W_L) \cdot dW_L/dt = L_0$$

$$-L_1W_E - L_2W_S - L_3W_L \quad (3)$$

其中, W_E, W_S, W_L 分别为穗茎叶干重; E_0, S_0, L_0 分别为穗茎叶起始生长势(即研究初期穗茎叶生长量); E_1, S_2, L_3 分别为穗茎叶自限参数(即穗茎叶自然生长对自身生长的限制作用); E_2, E_3 分别为茎叶对穗作用参数; S_1, S_3 分别为穗叶对茎作用参数; L_1, L_2 分别为穗茎对叶作用参数。

对于穗干重相对增长率,穗自身限制作用与茎叶作用相比,显得微不足道,可忽略自身限制项,即 $-E_1W_E$ 项。这样可理解为,穗干重增长过程主要由茎叶对其作用构成。同理,可忽略茎叶自身限制项,分别为 $-S_2W_S, -L_3W_L$ 项。据此,模型简化为:

$$(1/W_E) \cdot dW_E/dt = E_0 + E_2W_S + E_3W_L$$

$$(1/W_S) \cdot dW_S/dt = S_0 - S_1W_E + S_3W_L$$

$$(1/W_L) \cdot dW_L/dt = L_0 - L_1W_E - L_2W_S$$

其差分形式为:

$$W_E(i+1) = W_E(i)(1 + E_0 + E_2W_S(i) + E_3W_L(i)) \quad (4)$$

$$W_S(i+1) = W_S(i)[1 + S_0 - S_1W_E(i) + S_3W_L(i)] \quad (5)$$

$$W_L(i+1) = W_L(i)[1 + L_0 - L_1W_E(i) - L_2W_S(i)] \quad (6)$$

其中, i 为时间递推序号。

3.1 灌浆过程分析

小麦灌浆过程中籽粒增长或穗干重增加, 主要依靠两方面物质: 一是抽穗前和抽穗后短期内, 小麦茎秆、叶鞘中贮存的物质; 二是抽穗开花后, 小麦绿色叶片光合作用形成的光合产物。利用穗茎叶相互作用模式, 可研究在穗干重增长过程中, 作为中间贮存器官的茎秆和叶鞘对灌浆过程的贡献, 以及叶片光合作用对穗干物质增重起的作用。

利用穗茎叶相互作用模式中穗干重相对增长率模型, 可将穗干重增长分为两部分:

$$[1/W_{E1}(t)] \cdot dW_{E1}(t)/dt = E_2W_S(t)$$

$$[1/W_{E2}(t)] \cdot dW_{E2}(t)/dt = E_0 + E_3W_L(t)$$

其中 W_E, W_S, W_L 均视为时间 t 的函数。

分别对上述两部分从开花积分至成熟, 即可得到两部分在穗增长过程中各自的贡

献。

①计算得到早播和晚播小麦, 在灌浆过程中, 贮存于茎秆中干物质向穗部转移比例分别为 46.95% 和 28.87%。该比例在早播和晚播中亦不同, 早播大于晚播。早播小麦生育期长, 各器官及总干物质较晚播多, 灌浆对贮存大量光合产物的茎秆的依赖程度较晚播大, 转移比例亦高。

②以往这方面分析, 数值偏低^[8]。一般方法是取开花时茎秆干重减去成熟时干重得到茎秆减重, 除以穗增重, 此比值作为茎秆贮存物对灌浆的贡献, 其值约为 1/4。本文据实际资料分析, 茎秆干重在抽穗开花后一段时间内, 仍保持上升趋势。可解释为, 灌浆初期籽粒结构尚未健全, 不能接受很多光合物质。此时正值叶面积指数高峰阶段, 光合产物大量剩余, 暂时贮存于具有贮存功能的茎秆中。据上述分析和模式计算, 可以说明, 贮存于茎秆中的干物质对灌浆贡献比例不止 1/4, 可达到 1/3 或略多。可见小麦抽穗前后干物质生产对增加穗重及提高产量具有重要意义。

3.2 穗干重增长分析

依穗茎叶相互作用模式, 利用早晚播穗茎叶干重资料, 用可变误差多面体法^[4], 得到参数如表 3。

表 3 穗茎叶相互作用模式参数 ($i=0, 1, 2, 3$)

早播	E_i	1.0×10^{-7}		1.9×10^{-5}	1.1×10^{-4}
	S_i	3.6×10^{-4}	4.8×10^{-5}		1.4×10^{-4}
	L_i	5.5×10^{-5}	4.2×10^{-5}	3.5×10^{-6}	
晚播	E_i	1.9×10^{-3}		4.1×10^{-6}	1.5×10^{-4}
	S_i	8.5×10^{-3}	3.1×10^{-5}		2.8×10^{-5}
	L_i	4.9×10^{-2}	1.7×10^{-4}	7.0×10^{-7}	

据此模式可模拟研究在穗干重增长过程中茎叶干物质不同变化对穗增重的影响。将茎叶干物质 (W_S, W_L) 分别在整个灌浆期、灌浆中期和灌浆后期, 增减一定比例, 考察穗干重相应变化, 结果绘成图 2。

图 2 中 A_1, A_2, A_3 和 B_1, B_2, B_3 分别代表早、晚播小麦, 在整个灌浆期、灌浆中期和灌浆后期, 茎叶对穗增重的影响。横坐标代表茎

干重 W_S 增减百分比, 纵坐标代表叶干重 W_L 增减百分比, 图中等值线代表由此引起的穗干重 W_E 的变化百分比。

分析图 2 可得如下结果: ①在同样情况下, 茎叶干重变化引起穗干重的变化幅度, 早播大于晚播。说明适期早播的小麦, 穗茎叶干物质相互作用关系比较密切, 可通过保持较高干物质水平, 促进穗增长, 提高产量; ②无

论早播还是晚播, W_E 等值线间隔逐渐加大, 亦即茎叶对穗的增减效应, 在整个灌浆期、灌浆中后期和灌浆后期, 依次降低。保持灌浆期茎叶一定干物质, 对增加穗重提高产量有利; ③根据穗干重 W_E 等值线的倾斜度分析, 就茎叶分别对穗干重增减幅度影响而言, 叶片

的作用在各种情况下都较茎秆更加显著。灌浆过程中茎秆虽具有一定作用, 即如前述约 1/3 的灌浆物质来自茎秆, 但叶片的作用仍占主要地位。生产中采取措施保持灌浆期功能叶片数量和绿色面积, 对提高产量具有重要意义。

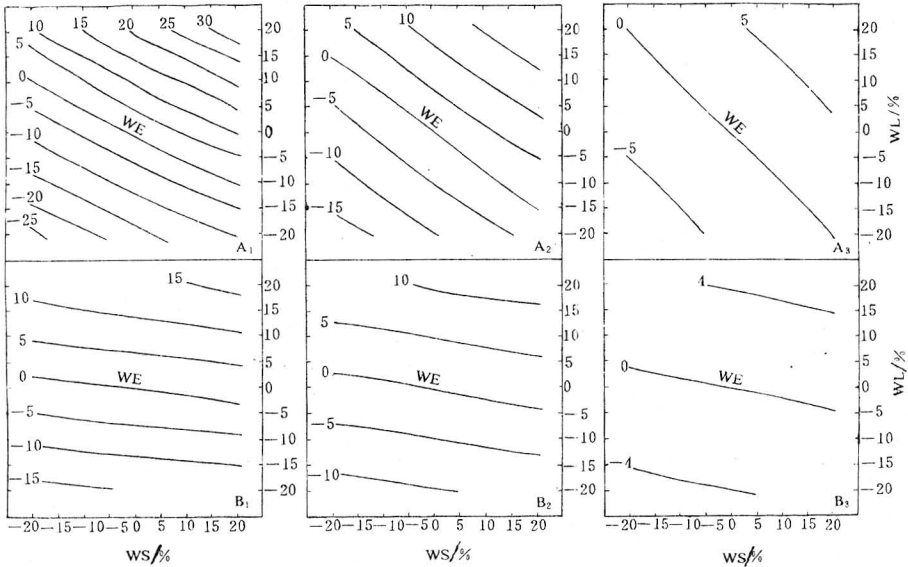


图2 茎叶对穗干重影响的模拟

参考文献

- 1 高辛等. 徐淮地区冬小麦产量形成的穗粒结构模式. 气象, 1997, 23(1): 11—16.
- 2 G. F. Byrne, and J. E. Drummond. Fitting a Growth Curve Equation to Field Data. Agricultural and Forest Meteorology, 1980, 22: 1—9.
- 3 G. F. Byrne, B. W. R. Torrsell and P. S. N. Sastry. Plant Growth Curves in Mixtures and Climatorological Response. Agricultural and Forest Meteorology, 1976, 16: 37—44.

- 4 刘德贵等. FORTRAN 算法汇编. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- 5 E. C. 皮洛. 数学生态学. 北京: 科学出版社, 1988.
- 6 陈兰荪. 数学生态学模型与研究方法. 北京: 科学出版社, 1988.
- 7 William F. Lucas 主编. 微分方程模型. 合肥: 国防科技大学出版社, 1988.
- 8 黄祥辉, 胡茂兴编. 小麦栽培生理. 上海: 上海科技出版社, 1984.

A Model on Dry Matter Weight for Winter Wheat Yield Formation

Wu Jingang Gao Ping Tang Zhicheng Tao Bingyan

(Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing, 210008)

Abstract

According to three-population model in mathematical-ecological theory, considering the interrelation among ear, stem and leaf of winter wheat in Xuhuai Region of Jiangsu Province, an inter-teraction model was set up, which described their dry matter weight. The study carried out is very useful to winter wheat growth modeling.

Key Words: winter wheat dry matter weight interaction model of ear, stem and leaf