

氮肥和底墒对小麦同化产物累积 与运转的调节效应模型*

上官周平 李英 陈培元 张春雷 薛青武 梁银丽

(中国科学院西北水土保持研究所 陕西杨陵 712100)

摘要 以氮肥和底墒为变量,采用最优二次D饱和设计,系统分析了氮肥与底墒对小麦生长后期同化产物累积运转过程的影响,在同化产物累积与运转方面建立了一些数学模型。结果表明,小麦籽粒产量决定于抽穗后累积同化产物的能力,随着抽穗后同化产物积累量的增加,籽粒产量中来源于抽穗后光合产物的比例上升,产量构成因素也随之改善;小麦籽粒产量与调运贮藏同化产物的能力呈显著负相关,籽粒中有9%~36%来自抽穗前贮藏同化产物;通过水肥措施的应用可显著提高或改善同化产物的累积与分配比例,并提高水分和肥料的利用效率。

关键词 小麦;同化产物累积与运转;氮肥;底墒

有关小麦抽穗后同化产物累积与运转的研究报道很多^[1,2,3],多偏重于逆境(干旱,营养)和高产麦田的物质积累与运转。近年来,就其数学模拟也取得了一些进展^[4,5],但就旱塬底墒和氮肥对同化产物累积与运转的反应模型的定量研究还不多见。笔者以往的研究表明底墒和肥力及栽培措施的优劣是决定旱塬小麦产量和WUE高低的主要因素。在此基础上,主要研究了底墒和氮肥对同化产物累积与运转调节效应的定量模型,这将对黄土旱塬因地制宜采取合理的栽培措施,更好利用光能、有限水分和营养资源具有重要意义。

1 材料与方 法

试验于1991~1993年在西北水保所试验站实施,试验设计及管理见参考文献7。

在小麦抽穗和开花期对长势一致的小麦单茎用红漆进行2次标记并采样,开花期后,各处理每5天取样10~20个茎秆,105℃烘10 min 杀青后,按穗、第1、2、3叶(由上向下数)及相应的叶鞘、节及节间分开装袋,80℃烘干至恒重,穗子剥粒计数并称重。试验资料分析以 $Y = b_0 + b_1N + b_2W + b_3N^2 + b_4W^2 + b_5NW$ 为数学模型拟合,用卡方检验实际值与计算值间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 氮肥和底墒对小麦同化产物累积与分配的效应模型

经济系数是衡量同化产物分配利用的指标。从表1看出,生物学产量与经济产量并非单纯

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期 1993-04-09 修回日期 1993-07-30

的正相关关系,例如处理4的生物产量显著高于处理2,但其经济产量却相反。这从另一侧面反映了群体结构是否合理或源库系统是否协调等问题。在其它同样条件下,不同水肥组合可使小麦产量的变化范围从244.36 kg/亩到440.29 kg/亩,相差近1倍,这就更值得深究。

表1 氮肥和底墒对小麦同化产物累积与分配的效应
Table 1 Influence of nitrogen and soil moisture before planting on accumulation and distribute of photosynthates for wheat

处 理 Treatment	生物产量(kg/mu) Biomass yield	经济产量(kg/mu) Economic yield	经济系数 Economic coefficient
1	765.42	244.36	0.3192
2	1084.37	406.29	0.3875
3	1048.13	350.28	0.3342
4	1103.13	375.82	0.3407
5	1278.12	440.29	0.3445
6	1180.21	426.45	0.3613

生物产量、经济产量和经济系数的回归方程为:

$$Y_{\text{生物产量}} = 1133.2784 + 123.7734N + 105.6286W - 0.0498N^2 - 103.038W^2 - 35.8173NW$$

$$Y_{\text{经济产量}} = 388.3345 + 61.6167N + 33.6082W - 16.6142N^2 - 12.9544W^2 - 19.7152NW$$

$$Y_{\text{经济系数}} = 0.3421 + 0.0176N - 0.0026W - 0.016N^2 + 0.0184W^2 - 0.0099NW$$

从图1、2看出,生物产量和经济产量随氮肥、底墒的改善而增加。如果氮肥和底墒中一个较为充足时,产量随着另一元素的改善增加缓慢;当一个元素较为亏缺时,产量随着另一元素的改善迅速增加,例如底墒从17.46%增加到20.50%时,施用氮肥量为20 kg/亩的处理产量(经济)从406.4 kg/亩增加到434.28 kg/亩,每亩增加量为27.79 kg;不施氮肥的经济产量却从243.83 kg/亩增加到350.47 kg/亩,增加量达106.64 kg/亩。

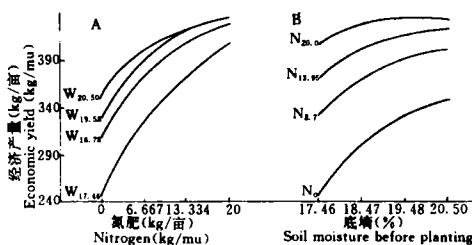
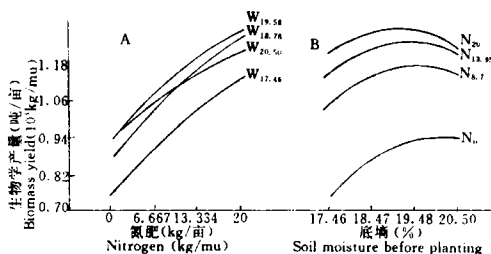
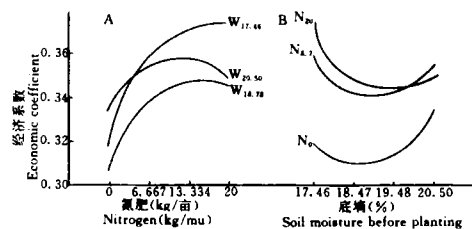


图1 氮肥(B)和底墒(A)对小麦生物学产量的效应曲线
Fig 1 Influence of soil moisture before planting (A) and nitrogen (B) on biomass yield for wheat

图2 氮肥(A)和底墒(B)对小麦经济产量的效应曲线
Fig 2 Influence of soil moisture before planting (B) and nitrogen (A) on economic yield for wheat

经济系数是作物的生物学特性。从图3看出,经济系数随着氮肥用量的增加,先是增加的较快,后来减小或维持稳定;随着底墒的改善,先是降低,达到一定底墒水平后,又逐渐增加。底墒为17.46%时,经济系数随施氮量而增加很快,在施氮20 kg/亩时达到最高值0.3746,但由于生物产量限制,产量并非最佳。



2.2 底墒和氮肥对抽穗前后同化产物累积的效应模型

如果将小麦的整个生长发育过程按生长中

图3 氮肥(A)和底墒(B)对小麦经济系数的效应曲线
Fig 3 Influence of soil moisture before planting (B) and nitrogen (A) on economic coefficient for wheat

心划分为营养生长(出苗至抽穗)与生殖生长(抽穗至成熟)两个阶段并加以比较,在不同阶段各水肥组合的同化产物积累量占成熟期总干物质积累量的百分率(以下简称为同化产物积累百分率)有明显差别(表2)。从处理6的53.11%到处理1的70.37%,变幅达20%左右。抽穗前干物质积累量与籽粒产量(以单茎为单位)间呈显著负相关,其回归方程为: $Y = 2.6659 - 0.0217x (r = -0.9668, n = 16)$; 抽穗至成熟干物质积累百分率与籽粒产量(以单茎为单位)间呈显著正相关,其回归方程为 $Y = 0.396 + 0.0235x (r = 0.9137, n = 16)$ 。抽穗前后同化产物积累百分率和抽穗后同化产物积累速率的回归方程分别为:

$$Y_{\text{抽穗前干重累积百分率}} = 53.193 - 4.774N - 0.886W + 8.701N^2 - 0.480W^2 + 3.566NW$$

$$Y_{\text{抽穗前干重累积速率}} = 0.384 + 0.0794N + 0.0244W - 0.035N^2 - 0.0311W^2 - 0.0169NW$$

表2 不同氮肥和底墒组合对抽穗前后干物质累积的影响(以单茎为单位)

Table 2 Influence of nitrogen and soil moisture before planting on accumulation of dry weight during growth stage for wheat

处 理 Treatment	总干物质 Total dry matter (g)	出苗至抽穗干重累积 Dry weight accumulation of heading stage		抽穗至成熟干重累积 Dry weight accumulation form heading to maturing		籽粒增加 Weight of grain (g)
		g	%	g	%	
1	2.275	1.601	70.37	0.674	29.63	1.130
2	2.831	1.505	54.11	1.299	45.88	1.517
3	2.504	1.550	61.90	0.954	38.10	1.186
4	2.726	1.479	54.26	1.247	45.74	1.406
5	2.985	1.537	58.51	1.239	41.49	1.436
6	2.907	1.544	53.11	1.363	46.89	1.532

小麦抽穗前干物质累积百分率随着施氮量增加表现出先降低后增加的趋势,存在明显的转折点。但生长在不同底墒条件下的氮肥临界值不同(图4), $W_{17.46}$ 和 $W_{20.50}$ 的临界值分别为 13.95 kg/亩和 8.7~13.95 kg/亩。此时抽穗前干物质累积百分率最低,最低值随土壤墒情改善而降低。氮肥用量过多或过少时,干物质累积百分率都较高。干物质累积百分率在最适氮肥条件下随墒情改善其变化量很小。

在施氮量很少或过多时,干物质累积百分率随墒情变化表现出相反的趋势,不同氮肥间的差异随墒情改善而减小,例如底墒为 17.46% 时, N_0 为 70.64%, N_{20} 为 53.96%, 相差达 16.68%。而底墒为 20.5% 时相差仅为 2.42%, 表明土壤墒情较差时,氮肥对干物质累积百分率的调节作用较大。

2.3 氮肥和底墒对各器官同化产物累积与运转的效应

小麦抽穗后以籽粒和叶片的变化最大,穗子是开花后主要的累积器官,其中籽粒相差达

4.34 g。叶片和叶鞘所累积的同化产物因分解外运,重量均不同程度的降低,且叶片移动量随氮肥用量的增加而增加。节及节间重量变化因底墒优劣而异,在底墒较差时,其重量降低,对籽粒充实具有一定的贡献;在底墒较好时,其重量稍有增加,可归因于节与节间等运输机构不易受土壤墒情的影响。各器官贮存同化产物的移动量对籽粒贡献的大小是:叶片>叶鞘>节及节间。

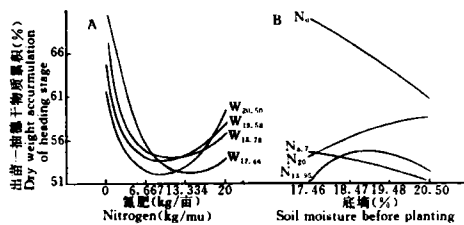


图4 氮肥(A)和底墒(B)对小麦抽穗前干物质累积百分率的效应曲线
Fig 4 Influence of soil moisture before planting(B) and nitrogen(A) on dry matter accumulation of heading stage for wheat

表 3 各器官不同部位开花后重量的变化(10茎,g)

Table 3 Changes of dry weight of different parts of the plants after flowering (10 stems,g)

处理 Treatment	器官 Parts	开花干重 DW of flowering	成熟干重 DW of maturing	移动量 DW came from reserves	移动总量 Total DW came from reserves	移动相对% Reserves relative shift	移动占籽粒% DW came from reserves of the shift total DW of the grain
1	节 Stems	5.52	4.20	-1.32		33.33	
	鞘 Sheaths	2.97	1.91	-1.06		26.77	
	叶 Leaves	3.22	1.64	-1.58	-3.96	39.90	36.07
	籽粒 Grains	0	10.98	10.98		100.00	
2	节 Stems	3.92	4.17	0.25		-12.82	
	鞘 Sheaths	2.59	2.11	-0.48		24.62	
	叶 Leaves	3.91	2.19	-1.72	-1.95	89.74	13.57
	籽粒 Grains	0	14.37	14.37		100.00	
3	节 Stems	2.76	2.01	-0.75		26.41	
	鞘 Sheaths	4.50	4.36	-0.14		4.93	
	叶 Leaves	3.88	1.93	-1.95	-2.84	68.66	23.95
	籽粒 Grains	0	11.86	11.86		100.00	
4	节 Stems	4.44	4.74	0.30		-17.86	
	鞘 Sheaths	2.71	2.13	-0.58		34.52	
	叶 Leaves	3.53	2.13	-1.40	-1.68	83.33	11.95
	籽粒 Grains	0	14.06	14.06		100.00	
5	节 Stems	4.20	4.58	0.38		-28.36	
	鞘 Sheaths	2.62	2.37	-0.25		18.66	
	叶 Leaves	3.78	2.31	-1.47	-1.34	109.70	9.07
	籽粒 Grains	0	14.77	14.77		100.00	
6	节 Stems	4.50	4.87	0.37		-19.89	
	鞘 Sheaths	2.78	2.33	-0.45		24.19	
	叶 Leaves	4.04	2.26	-1.78	-1.86	95.70	12.14
	籽粒 Grains	0	15.32	15.32		100.00	

小麦籽粒主要由开花后的光合产物与开花前贮藏的同化产物两部分构成。下面主要用地上部各器官同化产物转移量占籽粒的百分率来分析氮肥和底墒对籽粒物质组成的调节效应(图5)。底墒和氮肥对物质移动占籽粒的百分率的效应模型为:

$$Y = 10.206 - 8.1276N - 2.9368W + 5.891N^2 + 5.811W^2 + 3.244NW.$$

物质移动量占籽粒的百分率随氮肥用量的增加而降低,降低的幅度因底墒的改善而变小。例如底墒分别为17.46%、18.78%、19.59%和20.50%,氮肥用量从零增加到20 kg/亩后,物质移动量占籽粒百分率的变化幅度分别为20.83%、16.90%、14.52%和11.78%。同时氮肥用量愈少,转运物质占籽粒的比例就愈高,且底墒对其调节效应就愈大;氮肥用量愈多,转运物质所占比例就愈低,底墒对其调节效应就愈小,反映了植物对养分(水分,氮肥等)逆境具有调节能力,以弥补养分不足所造成的不良影响,这明显表现在调运贮藏同化产物的数量上。

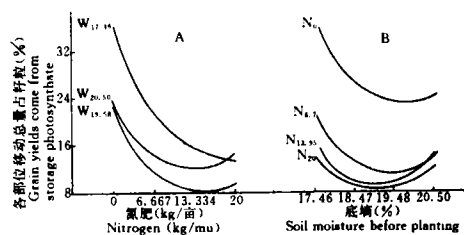


图5 氮肥(A)和底墒(B)对小麦物质移动占籽粒的百分率的效应曲线

Fig 5 Influence of soil moisture before planting (B) and nitrogen (A) on dry came from reserves of the total dry matter of the grains for wheat

3 讨论

小麦同化产物累积是经济产量的基础,在一定范围内总干物质累积的增加和经济产量成正比。所以小麦高产必须要有一定的生物学产量作基础。根据笔者以往的试验结果,小麦同化产物的积累和分配利用,在不同气候、品种、底墒和肥力等条件下有较大的差异^[1,8]。同化产物积累量从1 000~1 300 kg/亩均可达到350 kg/亩的产量,经济系数变化范围为0.334~0.388(表1),处理2和处理3的生物产量为1084 kg/亩和1048 kg/亩,但经济产量却分别为406 kg/亩和350 kg/亩。由此可见,通过水肥措施可显著提高或改善同化产物的累积与分配。

小麦抽穗前后所累积的同化产物与经济产量直接相关,其回归方程为 $y = 779.9569 - 6.9709x$ ($r = 0.8252, n = 16$),二者之间呈显著负相关,即小麦产量与抽穗后累积同化产物的能力呈显著正相关。小麦要高产,不仅需要积累较多的同化产物,更重要的要使同化产物在各生育阶段分配合理,特别是抽穗前后累积的同化产物尽可能多的向籽粒运转,这是小麦获得高产的关键所在。张宇等的研究表明穗部的干物质可能有1/5来自茎叶贮存同化产物的调运^[4]。本实验结果表明不同水肥措施下,调运物质占籽粒的百分率在9%~36%间,其变化幅度相当大。小麦受到水肥亏缺时,叶片、叶鞘、节和节间贮存产物再分配,以补偿水肥亏缺导致的穗粒数减少、光合性能抑制等因素来增加籽粒重量。转运物质占籽粒比值愈大,籽粒产量就愈小,二者之间呈显著负相关,其回归方程为 $y = 473.0051 - 6.1616x$ ($r = 0.9215, n = 16$),即使如此,物质运转仍不能弥补肥水对经济产量的影响,但不失为作物维持其自身繁殖的手段。

参 考 文 献

- 1 荆家海. 水分胁迫对小麦光合产物的累积与运转的影响. 陕西农业科学, 1989, (4): 4~7
- 2 王万里. 灌浆—成熟期间土壤干旱对小麦籽粒充实和物质运转的影响. 植物学报, 1982, 8(1): 67~80
- 3 山 仑. 小麦灌浆期生理特性和土壤水分条件对灌浆影响的研究. 植物生理通讯, 1980, (3): 41~46
- 4 张 宇. 小麦籽粒形成期间同化产物贮运过程的统计分析. 中国农业气象, 1992, 13(2): 9~11
- 5 陈培元. 黄土旱塬冬小麦反应型丰产模式的研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1992.
- 6 上官周平. 氮肥和底墒对小麦籽粒灌浆过程的调节效应分析. 西北植物学报, 1994, 14(2): 43~50

MATHEMATICAL MODEL STUDY ON EFFECTS OF NITROGEN AND SOIL MOISTURE BEFORE PLANTING ON ACCUMULATION OF PHOTOSYNTHATES AND MATTER TRANSLOCATION FOR WHEAT

Shangguan Zhouping, Li Ying, Chen Peiyuan

Zhang Chunlei, Xue Qingwu & Liang Yinli

(Northwest Institute of Soil and Water Conservation Academia Sinica Yangling Shaanxi 712100)

ABSTRACT

Two factors including nitrogen and soil moisture before planting were selected to decision, use of optimum design and computer technique. Analysing the effects of nitrogen and soil moisture before planting on accumulation of photosynthates and matter translocation later stage growth and some mathematical function of these parameters. The results showed that grain yield of wheat mainly produced from capacity of accumulation of photosynthate after heading. As the increasing of these accumulations, it will take much higher ratio in grain yields, and the yield component become better. Grain yields show much significant negative correlation with capacity of storage photosynthesis products. 9~36% of the grain yields come from storage photosynthate, through the application of water and fertilizer measure can remarkably improve the accumulation and distribute of photosynthate, and can raise the use efficiency of water and fertilizer.

Key words Wheat; Accumulation of photosynthates and matter translocation;
Nitrogen; Soil moisture before planting