

冬小麦估产指标的试验研究

刘笃慧 刘耀武 李登科

刘海山 刘炳林

提 要

本文以试验数据为基础,运用回归分析的方法,系统地分析了决定冬小麦产量的自身生物学特性、环境条件和农业技术诸方面的主要因素,提出了不同发育阶段进行冬小麦产量预测的生物学指标、气象指标和农艺措施指标,旨在为深入开展冬小麦产量预测、减少地面监测的盲目性提供可靠的依据。

一、前 言

近四年来,我国北方11省(市、自治区)的气象部门先后开展了大面积冬小麦遥感综合测产工作。除了利用气象卫星资料进行监测外,还投入了大量的人力物力进行多项目的地面监测,获得了丰富的资料,初步建立了冬小麦产量预测的气象模型和农学模型。为了深入开展该项工作,弄清楚冬小麦估产的主要指标,使地面监测做到有的放矢,节省人力物力,我们在1985年9月—1986年6月,进行了多因素的综合田间试验,系统地观测了冬小麦生长发育的若干个指标的动态变化。本文以此试验为基础,结合有关气象资料,从决定冬小麦产量的自身生物学特性,环境条件和农业技术三方面出发,系统地探讨可进行冬小麦产量预测的生物学、气象和农艺措施指标。

二、试验概况

试验采用二次正交旋转组合回归设计的方法^[1]。供试品种为阿勃。地点在泾阳县气象站试验地,总面积3亩,黄中壤,质地较粘紧,微碱性,机井抽水灌溉,前茬为夏玉米。共选6个因子,即播期、播种量、施底肥(磷酸二铵)量、追肥(尿素)量、灌溉返青水和孕穗水时间。每个因子取5个水平进行组合设计(-2, -1, 0, 1, 2),

共36个组合,局部设重复,共50个小区,每小区 $3 \times 6 \text{ m}^2$ 。观测项目有发育期、密度、叶面积系数、干物重、灌浆速度及秋、春季苗情检查等项目。地面气象资料取自该气象站。

三、结果与分析

冬小麦产量是自身生长发育特性、环境条件和栽培技术三者共同作用的结果。反映冬小麦自身生长发育特性的主要项目有发育期、群体密度、干物重、叶面积系数等,我们称此为生物学指标。环境条件,以土壤、气象条件最为重要,因此,这里仅讨论气象指标。在一定历史阶段,同一品种,栽培技术影响产量的高低,主要取决于播期的迟早、底肥量和追肥量水平以及有关灌溉等因素,因而选择上述农艺措施为指标。

1. 生物学指标

作物群体密度、干物质的累积量和叶面积系数是衡量作物群体大小的主要标志,与产量的形成过程密切相关。

表1是产量与各发育阶段生物学指标关系的回归分析结果,样本数为36。表中各符号表示的意义如下:

Y为产量(kg/亩);D为密度(万茎/亩);W为30株地上部分干物重(g);LAI为叶面积系数;NR为20株次生根条数;ND为20株总分蘖数;NB为20株三叶以上大蘖数;R或r

为复相关系数或单相关系数； α 为信度。

由表1可以看出：(1)入冬停止生长期的密度、叶面积系数和分蘖数与产量的关系较为密切，信度较高，可以作为此时期冬小麦估产的主要指标，干物重和次生根条数可作为辅助指标。三叶大蘖数与产量的相关不显著，这是由于实际调查三叶大蘖时取样误差较大

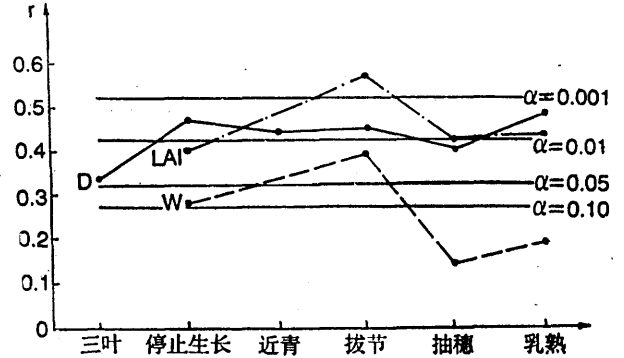
表1 产量与各发育阶段生物学指标的关系

发育期	指标	回归方程	R或r	α
停止生长期	D	$Y=290.48+0.79D$	0.47	0.005
	W	$Y=278.78+21.17W-1.61W^2$	0.37	0.10
	LAI	$Y=268.36+132.87LAI-50.69LAI^2$	0.50	0.01
	NR	$Y=305.40+0.75NR$	0.36	0.05
	ND	$Y=303.52+3.32ND-0.066ND^2$	0.38	0.01
	NB	—	0.10	—
拔节期	D	$Y=266.15+0.72D$	0.45	0.01
	W	$Y=109.11+18.76W-0.36W^2$	0.57	0.005
	LAI	$Y=272.44+14.35LAI$	0.57	0.001
	NR	$Y=256.51+0.20NR$	0.51	0.005
抽穗期	D	$Y=239.98+1.92D$	0.40	0.025
	W	—	0.14	—
	LAI	$Y=2.36+109.23LAI-8.47LAI^2$	0.62	0.001
乳熟期	D	$Y=233.22+2.59D$	0.48	0.005
	W	—	0.19	—
	LAI	$Y=40.77+191.56LAI-21.73LAI^2$	0.62	0.001

大，不易获得近似的真值，不宜采用此指标进行冬小麦产量预报。(2)拔节期各项指标均对产量有明显的指示意义，且以叶面积系数与产量的相关关系极为显著。(3)抽穗期的叶面积系数制约着灌浆速度的高低，其大小与千粒重的高低关系密切，进而对产量产生很大的影响，可作为主要指标；另以密度作为辅助指标。(4)乳熟期密度基本上反映了亩有效穗数的多少，叶面积系数则对灌浆产生较大的影响，两者与产量的关系均达到0.005以上的显著水平，是冬小麦生育后期估产较理想的指标。抽穗以后，干物重与产量的相关系数仅0.14—0.19，相

关不显著，这主要是由于小麦营养体与穗部物质转移的影响和取样误差较大的干扰。

从产量与各生物学指标相关系数的变化(附图)来看，密度在冬小麦整个生育期与



附图

产量相关显著水平平均达到0.05以上，尤其是在停止生长期、返青期、拔节期和乳熟期相关显著水平达到了0.01，是较理想的冬小麦估产指标。叶面积系数对产量的指示意义也很明显，停止生长期相关显著水平为0.05，抽穗期和乳熟为0.01，尤其是拔节期相关性为显著，信度高达0.001。而干物重对产量的指示意义，由于取样误差和小麦根、茎、叶、穗之间的有机物积累转移过程较复杂等原因，没有密度和叶面积系数那么明显，只有停止生长期和拔节期相关显著水平分别达到0.10和0.05，但抽穗期和乳熟期相关不显著。从实用性和可行性的角度看，干物重不宜作为冬小麦估产的主要指标，因为首先根系很难取样称重，且受烘烤条件限制，样本量不可能很多，代表性较差，等等。

2. 气象指标

气象条件是重要的环境因素，其要素的高低及变化影响着冬小麦的生理过程，乃至产量形成。因此，要寻找与产量相关密切的气象因子。

表2列举了产量与各发育阶段积温(ΣT)、日照时数(ΣS)、降水量(ΣR)，平均最高气温($\bar{T}_M$)和平均最低气温($\bar{T}_m$)的回归分析结果。

表2 产量与各发育阶段气象条件的关系

发育阶段	指标	回归方程	R或r	信度
冬前	ΣT	$Y = 225.29 + 0.66 \Sigma T - 0.00090(\Sigma T)^2$	0.37	0.10
	ΣS	$Y = -1880.30 + 18.60 \Sigma S - 0.039(\Sigma S)^2$	0.51	0.01
	ΣR	—	0.02	—
	$\bar{T}_M$	$Y = -2063.02 + 381.47 \bar{T}_M - 15.11 \bar{T}_M^2$	0.41	0.05
	$\bar{T}_m$	$Y = 331.39 + 19.17 \bar{T}_m - 7.23 \bar{T}_m^2$	0.44	0.05
返青—拔节	ΣT	$Y = -70.17 + 2.85 \Sigma T - 0.0049(\Sigma T)^2$	0.46	0.025
	ΣS	$Y = 448.18 - 0.36 \Sigma S$	0.29	0.10
	ΣR	—	0.00	—
	$\bar{T}_M$	$Y = 6290.58 + 1191.79 \bar{T}_M - 53.52 \bar{T}_M^2$	0.44	0.025
	$\bar{T}_m$	$Y = 319.63 - 66.44 \bar{T}_m - 45.15 \bar{T}_m^2$	0.40	0.10
拔节—抽穗	ΣT	—	0.27	—
	ΣS	$Y = 224.15 + 0.80 \Sigma S$	0.30	0.10
	ΣR	—	0.01	—
	$\bar{T}_M$	—	0.06	—
	$\bar{T}_m$	—	0.12	—
抽穗—成熟	ΣT	$Y = -7735.83 + 18.41 \Sigma T - 0.010(\Sigma T)^2$	0.54	0.005
	ΣS	$Y = -3903.70 + 34.76 \Sigma S - 0.071(\Sigma S)^2$	0.57	0.005
	ΣR	—	0.06	—
	$\bar{T}_M$	$Y = -19972.48 + 1564.86 \bar{T}_M - 30.12 \bar{T}_M^2$	0.41	0.05
	$\bar{T}_m$	$Y = 11944.47 + 1759.64 \bar{T}_m - 62.98 \bar{T}_m^2$	0.52	0.01

表2表明,冬前、返青—拔节及抽穗—成熟各发育阶段积温、日照时数、平均最高温度和平均最低温度可作为冬小麦产量预报的指标。拔节—抽穗仅日照时数通过了显著性检验。各个发育阶段的降水量与产量的相关均不显著,这是由于灌区土壤水分基本上能满足冬小麦的生理需水,因而降水量不是灌区冬小麦产量的限制因子。

3. 农艺措施指标

在目前的冬小麦产量预报中,一般不单独考虑农艺措施的影响,这势必增加了产量预测模型的误差。实际上,农艺措施的定量

指标往往难以取得,这里仅对试验中几项农艺措施加以分析,以期这项研究工作得到重视和深入进行。

二次正交旋转试验设计的基本数学模型

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_j b_{jj} x_j^2 + \varepsilon$$

($i, j = 1, 2, \dots, p$; ε 为随机误差项)。

产量与农艺因子播期 x_1 、播量 x_2 、底肥量 x_3 、追肥量 x_4 、灌返青水日期 x_5 和灌孕穗 x_6 的回归方程建立之后,经过两次方差分析,取消偏回归平方和不显著的项次,并保留因子平方项显著的一次项,以及回归系数绝对值大于5(即因子变化一个水平对产量影响大于5kg/亩)的项,可得到如下方程:

$$\hat{Y} = 349.83 + 10.06x_1 + 12.25x_2 + 5.09x_3 + 4.15x_4 + 7.48x_1x_2 + 6.05x_1x_4 + 6.05x_2x_5 + 6.05x_3x_6 + 7.48x_4x_6 - 12.41x_1^2 - 8.93x_2^2 + 5.51x_3^2 - 8.56x_4^2$$

对此方程的方差分析表明,总回归效果是显著的,达到信度 $\alpha = 0.01$ 的检验标准($F = 3.36 > F_{0.01}$)。由于土壤肥力不均、杂草及人为影响等随机因子引起的试验误差平均为19.8kg/亩,由其它环境随机因子引起的回归剩余误差平均22.1kg/亩。

由于 x_i 代表因子变化水平的数量,经过了无量纲变换,且满足正交性,故根据此方程可以直接从回归系数绝对值的大小判断因子的回归效应。这恰恰说明,灌水迟早是和群体结构、施肥水平相匹配的。因此,播期、播量、底肥和追肥可作为冬小麦产量预报的基本因子。灌返青水的迟早和孕穗水的迟早这两因子(x_5 、 x_6)的一次项和二次项未选入方程,但与其它因子的交互效应明显,因此两者对产量的作用有待于进一步试验研究。根据上述产量——农艺因子的二次正交旋转回归方程,还可求出最佳农艺措施组合,并便于计算机模拟,为栽培管理提供各种可供选择的方案(略)。

四、结论与讨论

1. 本文应用回归试验设计与分析方法,系统地研究、分析了影响冬小麦产量的主要因素,得到了一些与冬小麦产量有密切关系的生物学指标、气象指标和农艺措施指标,可供研制冷小麦产量预报模型和地面监测选择观测项目,确定观测方法等工作参考。为了便于使用,现将分析结果归纳列于表3。其中气象指标主要适用于关中平原灌区。

2. 本文只限于讨论各指标对产量的单独影响,至于各项指标间的相互制约关系以及怎样利用这些指标组建冬小麦产量综合预报模型,有待于进一步研究。

3. 对于农艺措施指标,应根据目前的主要生产问题和相应的农艺措施,积极开展区域联合的试验研究工作,为深入开展冬小麦产量预报工作和提出配套的农艺措施奠定基础。

表3 冬小麦各发育阶段的估产指标

发育阶段	生物学指标	气象指标	农艺措施指标
前 冬	密 度 叶面积系数 次生根条数 分 蘖 数	积温 日照时数 平均最高气温 平均最低气温	播期 播量 底肥 追肥
返青——拔节	密 度 干物重 叶面积系数 次生根条数	同上	
拔节——抽穗	密 度 叶面积系数	日照时数	
抽穗——成熟	同上	积温 日照时数 平均最高气温 平均最低气温	

参考文献

1. 茆诗松等, 回归分析及试验设计, 华东师范大学出版社, 1981年。
2. 陈国良、刘笃慧等, 微机应用与农业系统模型, 陕西科技出版社, 1986年, p152-179。