

# 冬小麦生产动态试验优化设计及其调控决策模型研究

夏兴英 廖树华 梁振兴

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要** 为满足冬小麦调控管理决策技术方法的需要,采用均匀试验设计、视觉技术和逐步回归分析方法,研究了冬小麦生产动态试验优化设计过程和冬小麦调控管理模型,结果如下:经分析讨论得到了将小麦叶色、株高、叶面积指数等群体状态量综合在一起的“群体综合指数”计算公式,并用于动态试验优化设计过程和调控模型的构建;结合北京地区冬小麦 8901 品种的生产实际,安排了 17 个因素的分阶段田间动态试验,部分试验处理实测产量超过 6 500 kg/hm<sup>2</sup>;初步建立了优质面包麦 8901 的生产调控模型,各阶段模型的复相关系数为 0.956~0.997 7,生殖生长阶段之后模型的预测误差绝对值 < 6.92%,之前的模型除了 2 个处理外也均在此范围。研究结果为进行多因素作物生产试验研究和进一步研究田间数字监测技术提供了新的方法。

**关键词** 冬小麦; 动态试验优化设计; 群体综合指数; 调控决策; 模型

**中图分类号** S 512.1; S 311

**文章编号** 1007-4333(2006)06-0034-07

**文献标识码** A

## Research on optimization design of dynamic experiments and regulation decision-making model for winter wheat production

Xia Xingying, Liao Shuhua, Liang Zhenxing

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** Based on the uniform design and the computer vision technology we studied the technology and method of regulation decision-making for winter wheat production in this paper. The research includes the trial design method and the related population growth status index of winter wheat. A dynamic trial design method was set up. The trial includes total 17 factors in different growth phrases. Some treatments yielded 6 570 kg/hm<sup>2</sup>. The computing formulation of the population synthesized index was set up. The formulation includes status variables of winter wheat population such as the plant height, the leaf color and the leaf area index. The population synthesized index was involved as a factor in the trial design. The regulation decision-making models were built up by the stepwise regressive method in different growth phrases. The regressions are remarkable ( $R > 0.95$ ) and the predicted errors are from 6.92% to 6.92% with two exceptions.

**Key words** winter wheat; dynamic optimization experiment design; population synthesized index; regulation decision-making; model

冬小麦生产是在一个开放的环境中进行的,无时无刻不受外界环境条件的影响和制约。播前制定的管理方案由于受气候、土壤、病虫害等不可控因素的影响,在实施过程中难免有失误和偏差,导致实际生长情况偏离既定生产目标。在生产中除了要做好播前决策外,还要对小麦的生长状况跟踪监测,根据实际监测结果进行调控决策,采取相应的措施。要

做好调控决策,首先要研究调控决策的技术和方法,其关键点就是调控决策模型的构建。

作物生产系统是复杂的动态系统,围绕作物生产管理决策问题,国内外学者进行了广泛的研究。20世纪80年代以来农业决策支持系统(DSS)的研制迅速发展,提出了以知识库系统或以专家系统支持的智能化农业决策支持系统和基于模拟模型的农

收稿日期: 2006-03-21

基金项目: 国家十五科技攻关计划项目资助(2001BA513B3-01)

作者简介: 夏兴英,硕士研究生;廖树华,副教授,通讯作者,主要从事作物信息化栽培研究, E-mail: sergzl@cau.edu.cn

业决策支持系统。基于模拟模型的决策支持系统综合性较强,它结合了土壤、气候及管理措施,但系统输入多且繁琐,产量等重要性状的系统模拟值与实际观测值相比误差较大,生产决策功能较弱,一般用于生长预测。基于专家系统支持的智能化农业决策支持系统是以作物栽培和农业生产的专家经验和知识为基础指导作物生产的管理决策,这类专家系统有较强的实用性和决策能力,但缺少模拟模型的机理性和动态性,且系统时空适应性和应变能力差<sup>[1]</sup>。由于技术与方法上的不足,生产上的调控决策目前还以人工经验判断为主。

调控决策模型的构造离不开试验的设计过程。人们在科研实践中,常用的试验设计多是在试验开始以前就设定好了,实质上是对既定思想的一种验证,往往只能被动的安排试验和处理数据,而对试验过程和试验方案的优化常常显得无能为力。面对外界不可控因素的变化传统试验方法缺乏灵活性,大大降低了试验的效率,对于具有动态特点的作物生产监测和调控决策方法研究更难以适用。本研究以系统动态思想为指导,以均匀设计和计算机视觉技术为方法基础,探讨冬小麦生产的动态试验设计过

程及相应的调控决策模型构建技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 基本试验设计

试验于2004-09—2005-06在北京农学院实习农场进行。供试品种为优质面包麦8901,产量水平约为6000~7500 kg/hm<sup>2</sup>。试验地土质为壤土。有机质21.5 g/kg,全氮1.14 g/kg,速效磷53.67 mg/kg,速效钾162 mg/kg。试验设基本苗( $x_1$ )、底施纯氮( $x_{11}$ )、磷肥( $x_{12}$ )、播期( $x_{13}$ )、冬水( $x_{14}$ )和钾肥( $x_{15}$ )共6个因素,基本苗由播种量( $x_0$ )控制,各控制因素设5水平。由于所涉及的因素数和水平数较多,本试验采用均匀设计方法进行设计。在田间试验中,若肥水施用量划分过细,水平数过多,水肥效应反而易被误差所掩盖,所以本试验采用拟水平均匀设计法<sup>[2]</sup>,即同一水平看作多个不同码值水平(本文中各阶段试验同此处理)。本试验中,各因素的每一水平都对应应有5个不同的码值,在设计表中重复5次,共得25个拟水平。试验设25个处理,各处理因素的水平组合选用均匀设计表 $U_{25}(25^9)$ 排列,具体处理采用均匀设计软件协助完成(表1)。

表1 冬小麦生产基本试验设计

Table 1 Basal design treatment for winter wheat production

处理 编号	基本苗/ (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	底氮/ (kg/hm <sup>2</sup> )	磷肥/ (kg/hm <sup>2</sup> )	播期 (月-日)	冬水/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	钾肥/ (kg/hm <sup>2</sup> )	处理 编号	基本苗/ (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	底氮/ (kg/hm <sup>2</sup> )	磷肥/ (kg/hm <sup>2</sup> )	播期 (月-日)	冬水/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	钾肥/ (kg/hm <sup>2</sup> )
	$x_1(x_0^*)$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$		$x_1(x_0^*)$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$
1	225(6.4)	60	105.0	10-06	675	232.5	14	330(9.4)	90	105.0	10-16	900	142.5
2	225(6.4)	90	142.5	09-26	225	232.5	15	285(9.4)	90	142.5	10-01	450	97.5
3	210(6.4)	120	165.0	10-11	900	232.5	16	345(10.9)	120	217.5	10-16	225	97.5
4	240(6.4)	150	217.5	10-01	450	232.5	17	345(10.9)	150	67.5	10-06	900	97.5
5	225(6.4)	150	67.5	10-11	0	187.5	18	345(10.9)	180	105.0	09-26	450	97.5
6	255(7.9)	180	142.5	10-01	900	187.5	19	330(10.9)	60	142.5	10-11	0	97.5
7	285(7.9)	60	165.0	10-16	450	187.5	20	315(10.9)	60	165.0	09-26	675	52.5
8	270(7.9)	90	217.5	10-06	0	187.5	21	345(12.3)	90	67.5	10-11	450	52.5
9	270(7.9)	120	67.5	09-26	675	187.5	22	375(12.3)	120	105.0	10-01	0	52.5
10	270(7.9)	120	105.0	10-06	225	142.5	23	375(12.3)	150	142.5	10-16	675	52.5
11	285(9.4)	150	165.0	09-26	0	142.5	24	420(12.3)	180	165.0	10-06	225	52.5
12	300(9.4)	180	217.5	10-11	675	142.5	25	405(12.3)	180	217.5	10-16	900	232.5
13	300(9.4)	60	67.5	10-01	225	142.5							

注: \*播种量单位为 kg/(666.7 m<sup>2</sup>)

王玉方.均匀设计软件.1.0版,©2000—2003

试验小区(4 m ×6 m)共 25 个,用塑料布(埋深 1 m)间隔 1 m。各小区施入底肥后,人工翻地、耙平,各处理的施用量见表 1。种植行距 20 cm,冬水于越冬前浇。

## 1.2 调查项目与测定方法

**茎数测定。**每小区取 3 个样段,样段长 1 m,分别标记,定点调查。

**叶面积指数(LAI)。**在小麦生育的不同时期,每小区随机取 30 株,按单株分蘖多少分类,根据各类所占比例共取出其中的 20 株,采用长宽系数法测定。

**干物重。**在小麦生育的不同时期,每小区随机取 30 株,按单株分蘖多少分类,根据不同分蘖单株所占比例取出 20 株,105℃ 杀青 0.5 h,70℃ 烘干至恒重。

**株高。**从根部量到小麦的冠层顶部。

**图像获取。**在小麦的各个生育时期用 Canon PowerShot G2 400 万像素数码相机固定高度垂直向下对其拍照,各小区设一固定拍照样点。选择无风的天气,在 10:00—15:00 间进行拍照,相机的拍照高度距冠层约为 120 cm,焦距、光圈与曝光速度分别为 7 mm、4.5 和 1/600(此设定值下图像中视野区域的田间面积约为 1 m<sup>2</sup>),并以 RAW 格式存入图像存储卡中。

**冠层色调值。**将图像转换为 BMP 格式,利用自编软件系统读取图像,中值滤波法去除图像噪声,并根据绿色植物和土壤间色调值(H)的明显差异<sup>[3]</sup>去掉土壤背景。对于有杂物较难去除的部分进行直方图分析后选择适合的临界值单独去除,然后计算剩余部分的平均色调值。

**测产及考种。**于成熟期每小区随机取 20 株进行室内考种,同时每小区取 4 m<sup>2</sup> 实收测产。

## 1.3 动态试验优化设计方法及冬小麦群体状态指标

### 1.3.1 “群体综合指数”的建立

为满足动态试验优化设计要求,首先要确立反映小麦群体生长动态的状态指标。状态指标的选择主要从小麦的传统诊断方法中分析、获取。归纳起来主要指标有叶面积指数、叶色、干物重、株高、茎蘖数及叶龄等。

从根本上来说作物的生物产量来自于其光合作用化物的积累,而叶片是作物进行光合作用的主要器官,选择叶面积指数反映作物的生长状况<sup>[4]</sup>。叶面

积指数是一个与长势的个体特征和群体特征有关的综合指数<sup>[5]</sup>,这也是用叶面积指数跟踪监测作物长势的依据。除了叶面积的大小影响光能的转换以外,叶片叶绿素的含量也是影响其光合能力的重要因素之一。冬小麦旗叶叶绿素含量与其净光合强度呈显著正相关关系<sup>[6-7]</sup>,而叶色变化是叶绿素含量变化的外观反映,叶色也是常规看苗诊断的重要指标之一。在整个生长过程中,分析冬小麦冠层图像的颜色特征可以直接表征其生长发育情况<sup>[8]</sup>。由以上分析可以看出,冬小麦的叶色和叶面积指数这两个指标与冬小麦群体的光合性能有密切关系,可用其反映冬小麦群体的长势。

在颜色特征的提取方面,利用 HIS 颜色坐标系统中的色调值(H)进行颜色区分能达到较好的诊断效果。作物叶片图像色调值的不同不仅反映叶绿素含量的差别<sup>[9]</sup>,而且反映作物由于水肥等差异引起的叶色变化,所得结果可供灌溉和施用氮肥时参考<sup>[10]</sup>。

综上所述,笔者提出用“冠层叶色特征值(冠层色调值 H) × 叶面积指数值”描述小麦的群体生长状态,考虑到群体的光合速率不是单叶光合速率的简单累加,还与冠层内光分布有关,用株高对其进行修正后得到作物群体长势状态量化公式:群体综合指数 = 冠层叶色特征值(H) × 叶面积指数 / 株高,群体综合指数反映了冬小麦群体单位空间体积内的叶绿素情况。

### 1.3.2 动态试验优化设计

冬小麦阶段性发育的关键期为:越冬期、起身期、拔节期和灌浆期,是生产调控的关键时期。据此在试验设计中将小麦的生长过程分为:冬前营养生长阶段(播种—越冬期)、冬后营养生长阶段(返青期—起身期)、生殖生长阶段(拔节期—开花期)和灌浆成熟阶段(灌浆期—成熟期)4个阶段,分别进行田间调查,依调查结果布置田间试验方案。

## 2 结果分析

### 2.1 动态试验设计过程

1)冬后营养生长阶段。由于越冬期间冬小麦地上部营养体基本干枯,2005年春气温持续偏低,试验方案设计时地上部绿叶很少,用既定方法很难合理反映小麦在冬前营养生长阶段的生长情况。冬前营养生长阶段末的群体综合指数用冬前干物重( $x_2$ )(2004-11-26取样)代替,各处理干物重互不相

同,有 25 个水平。该阶段的调控因素包括纯氮量 ( $x_{21}$ )、浇水量 ( $x_{24}$ )、肥水施用日期 ( $x_{23}$ ) 和冬前干物重,共 4 因素,前 3 个因素均 5 水平。试验设计中

仍采用拟水平法<sup>[5]</sup>,选用均匀设计表  $U_{25}^*(25^{11})$ 。处理组合按均匀设计表的使用表安排(表 2),无水处理组氮肥于行间开沟埋入。

表 2 冬后营养生长阶段试验安排\*

Table 2 Test treatment in spring vegetative growth stage

处理编号	冬前干物重/ (kg/666.7 m <sup>2</sup> ) $x_2$	纯氮/ (kg/hm <sup>2</sup> ) $x_{21}$	灌溉量/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) $x_{24}$	肥水施用 日期(月-日) $x_{23}$	处理编号	冬前干物重/ (kg/666.7 m <sup>2</sup> ) $x_2$	纯氮/ (kg/hm <sup>2</sup> ) $x_{21}$	灌溉量/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) $x_{24}$	肥水施用 日期(月-日) $x_{23}$
1	57.8	0	750	03-15	14	21.9	120	750	03-25
2	107.3	90	600	03-15	15	127.3	0	0	03-25
3	24.5	30	300	04-05	16	21.9	90	0	03-30
4	90.4	0	450	03-20	17	84.2	0	600	03-30
5	21.8	30	450	03-20	18	142.6	90	450	03-30
6	84.2	120	0	04-05	19	42.9	60	600	04-05
7	15.2	90	300	03-15	20	161.6	30	600	04-05
8	70.2	120	300	03-20	21	36.8	30	0	03-25
9	123.3	30	750	03-20	22	106.3	0	300	04-05
10	82.8	60	450	03-25	23	27.1	60	750	03-20
11	91.2	90	750	03-25	24	104.4	60	0	03-30
12	39.2	120	450	03-30	25	26.1	120	600	03-15
13	86.1	60	300	03-15					

注: \*为 2005 年;表 3 同。

2) 生殖生长阶段。冬后营养生长阶段末群体综合指数 ( $x_3$ ) 的获取,于生殖生长阶段调控措施实施前 4 d,拍摄小麦冠层数字图像,提取图像特征信息,并测量株高及叶面积,换算得到各个处理的群体综合指数,共 25 个水平。该阶段的调控因子为:追施纯氮量 ( $x_{31}$ )、浇水量 ( $x_{34}$ )、肥水施用时间 ( $x_{33}$ ),各因素均设 5 个水平。试验设计方法和冬后营养生长阶段相同(表 3)。肥、水施用方法同冬后营养生长期。

3) 灌浆成熟阶段。生殖生长阶段末的群体综合指数 ( $x_4$ ) 的获取方式同前,共 25 个水平。该阶段的调控因子为:浇水量 ( $x_{44}$ )、浇水时间 ( $x_{43}$ ),各因素均为 5 水平,仍采用拟水平法得 25 个拟水平<sup>[5]</sup>。加  $x_4$  共 3 个因素,试验设计方法与冬后营养生长阶段相同(表 3)。

最终产量结果见表 4。最高产量为 6 570 kg/hm<sup>2</sup>,达到该品种在北京地区的较高产量水平,但未达期望水平,这可能与 2005 年春气温持续偏低

有关。

## 2.2 模型建立与效果分析

### 2.2.1 冬小麦调控决策数学模型的建立

在冬前营养生长阶段、冬后营养生长阶段和生殖生长阶段分别建立以群体综合指数为状态变量的数学模型,并用最终产量  $x_5$  作为灌浆成熟阶段末的状态变量。相应状态方程为:

$$x_{i+1} = f(x_i, x_{ij}, X_{ij})$$

其中:  $x_{ij}$  分别为各个阶段的生产管理措施,  $X_{ij}$  表示前期的总措施,  $i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, 5$ 。

建模时,除了本阶段措施外还考虑了前期措施的影响。为便于建模,将原始数据中的播种期换算成播种时间距越冬期开始时的天数,追肥期换算成追肥时间距返青期开始时的天数,灌浆浇水期浇水时间换算成距各处理花期开始时的天数,产量、肥水用量均折算成每 666.7 m<sup>2</sup> 的用量进行分析。运用 SPSS 统计软件对试验数据进行逐步回归分析,结果如下:

表3 生殖生长阶段和灌浆成熟阶段试验安排

Table 3 Test treatments in reproductive growth and filling-mature stage

处理编号	生殖生长阶段				灌浆成熟阶段		
	群体综合指数	纯氮/ (kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉量/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	肥水施用日期 (月-日)	群体综合指数	灌溉量/ (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	灌溉日期 (月-日)
	X <sub>3</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>43</sub>
1	1.40	120	0	05-05	2.19	600	05-21
2	1.28	90	750	04-25	3.34	750	05-18
3	1.12	60	0	04-30	2.88	300	05-24
4	1.32	60	300	04-15	2.92	0	05-18
5	1.10	90	600	04-15	3.12	450	05-18
6	0.88	0	0	04-25	2.73	450	05-15
7	0.56	30	600	05-05	3.35	600	05-12
8	1.69	0	750	04-15	3.38	300	05-21
9	2.22	90	0	04-30	2.86	600	05-15
10	1.95	60	750	04-20	3.20	300	05-12
11	1.96	120	600	04-15	3.37	0	05-21
12	1.46	0	600	04-30	3.23	600	05-18
13	1.89	30	0	04-25	3.28	450	05-12
14	1.11	0	300	05-05	2.81	750	05-21
15	2.06	30	300	05-05	2.93	750	05-15
16	0.87	90	450	04-30	3.10	600	05-24
17	1.73	120	450	04-30	3.20	750	05-24
18	3.51	90	300	04-15	3.43	0	05-15
19	1.31	30	450	04-20	3.62	750	05-12
20	2.94	0	450	04-20	2.94	450	05-24
21	1.60	60	450	04-25	3.08	0	05-12
22	2.66	120	750	04-25	2.98	300	05-18
23	0.89	30	750	04-20	3.65	450	05-21
24	1.71	60	600	05-05	2.79	0	05-24
25	1.63	120	300	04-20	3.74	300	05-15

表4 冬小麦生产试验各处理的籽粒产量

Table 4 Grain yield of treatments for winter wheat production

处理编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	5 745	6 112	5 407	5 572	4 920	5 932	5 842	5 505	6 570	4 957	5 242	5 422	5 520
处理编号	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	5 437	6 562	5 797	5 767	3 727	5 542	6 247	6 127	6 120	4 784	5 947	4 837	

1) 冬前营养生长阶段状态方程的数学模型

$$x_2 = -130.8932 - 0.8332x_1x_{13} - 0.5852x_1x_{15} + 0.07072x_1x_{12} + 31.9727x_1(x_1/x_0) - 0.2534x_{11}x_{12} + 0.06843x_{11}x_{13} - 1.07782x_{13}x_{15} + 14.5635x_{13}(x_1/x_0) + 26.7711x_{15}(x_1/x_0) - 0.6485x_1^2 - 344.1369(x_1/x_0)^2$$

其中：回归方程的复相关系数  $R = 0.9977$ ，显著性检验统计量  $F = 258.7503$ ，显著水平  $\alpha = 2.38 \times 10^{-13}$ 。

2) 冬后营养生长阶段状态方程的数学模型

$$x_3 = -2.4578 - 0.07385x_{24} + 0.1904x_{11} - 0.02483x_{12} + 0.096633x_{13} + 0.09909x_{15} + 0.003480x_2x_{21} - 0.001044x_2x_{15} + 0.02808x_{21}x_{11} - 0.008285x_{21}x_{13} + 0.002383x_{23}x_{24} - 0.001640x_{23}x_{14} + 0.002487x_{24}x_{11} + 0.0008602x_{24}x_{14} - 0.0008863x_{24}x_{15} - 0.02295x_{11}^2$$

其中： $R = 0.9978$ ， $F = 133.3151$ ， $\alpha = 1.07 \times 10^{-8}$ 。

3) 生殖生长阶段状态方程的数学模型

$$x_4 = 5.54978 - 0.4122x_3 - 0.1285x_{31} - 0.1284X_{31} - 0.03357X_{34} + 0.02425x_3X_{31} - 0.003551x_{31}x_{15} + 0.01201x_{31}X_{31} +$$

$$0.0005101x_{33}X_{34} + 0.0001063x_{34}X_{34} + 0.0009518X_{31}X_{34} - 0.0003814x_{33}^2$$

其中： $R = 0.9566$ ， $F = 12.7229$ ， $\alpha = 3.18 \times 10^{-5}$ 。

4) 灌浆成熟阶段产量与各因素的数学模型

$$x_5 = 2534.4350 - 583.6512x_4 - 72.4093x_{43} - 14.7891x_{44} - 32.5833X_{41} - 96.0687x_{12} + 17.2002x_4x_{43} + 4.9475x_4x_{44} + 28.8607x_4x_{12} + 0.7488x_{43}X_{41} + 0.8680x_{43}x_{12} + 0.8185X_{41}^2$$

其中： $R = 0.9800$ ， $F = 28.6981$ ， $\alpha = 2.65 \times 10^{-7}$ 。

上述模型中有关系数作了四舍五入处理。冬前、冬后、生殖及灌浆成熟各阶段回归方程的标准误差分别为 3.9206、0.07465、0.1344 和 11.9055。

2.2.2 效果分析

图 1 示出各阶段模型的估测值和实测值。可以看出散点大都集中在直线周围。冬前干物重实测与预测值(图 1(a))的根均方( $e_{RMSE}$ )为 2.8855,最小、最大误差值分别是 - 5.06774 和 7.0038,除了 1 个点的预测误差的绝对值等于 21.8124 %外,其他点误差都小于 6.9196 %;冬后营养生长阶段群体综合指数实测与预测值(图 1(b))的  $e_{RMSE}$  为 0.0457,最小、最大误差值分别是 - 0.1014 和 0.08475,预测误差的绝对值除 1 个点等于 11.6497 %外,其他点误差都小于 5.3311 %;生殖生长阶段群体综合指数

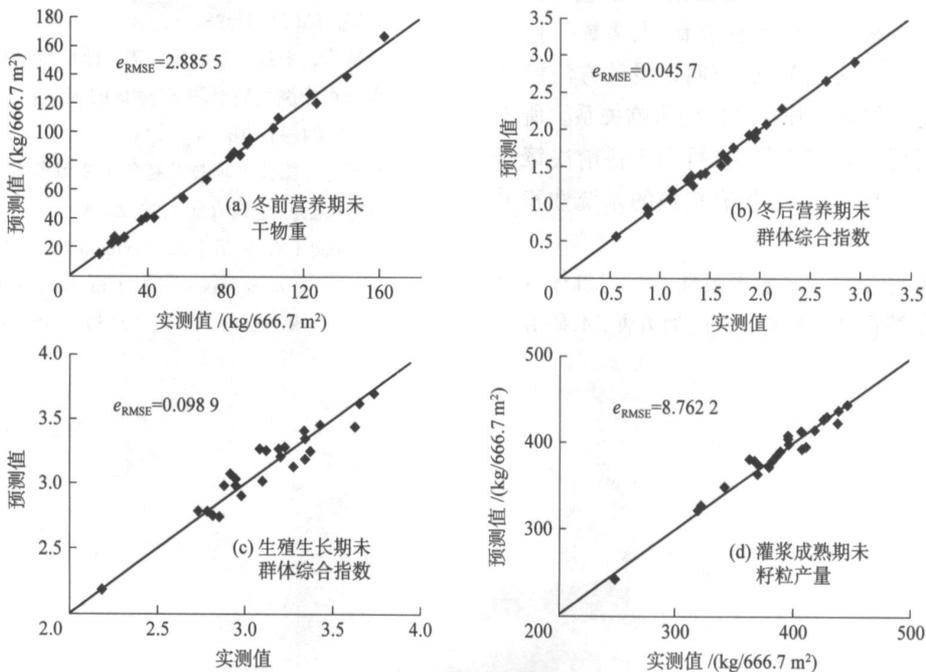


图 1 冬小麦生长各阶段模型观测值与预测值的比较

Fig. 1 Comparison of growth values between measured and predicted by the models

实测与预测值(图1(c))的 $e_{RMSE}$ 是0.0989,最小、最大误差值分别是-0.1797和0.1837,预测误差的绝对值小于5.8263%;灌浆成熟阶段产量实测与估测值(图1(d))的 $e_{RMSE}$ 是8.7622,最小、最大误差值分别是-18.9673和16.8542,预测误差的绝对值小于5.2272%。

### 3 结论与讨论

1)本研究中各阶段试验因素共有17个,其中群体综合指数25个水平,其他因素5水平。若按传统设计方法,大田试验根本无法实现,而采用本研究的动态设计思想,这一问题得到有效解决。部分试验处理的产量达到 $6\ 570\text{ kg/hm}^2$ ,这一产量水平是在北京一般的大田条件下采用常规措施实现的。表明该试验设计方法在作物生产的系统研究中有较大推广价值。

2)利用计算机视觉技术可以快速、准确地获取田间作物信息,克服了人工看苗诊断主观性强、误差大的缺陷。本研究将计算机视觉技术与常规大田调查相结合,提出了一种反映冬小麦群体状态的新指标——群体综合指数。从试验及模型分析结果看,该指数可以较好反映作物群体的长势状态。

3)根据所提出的动态试验优化设计方法,本研究进行了试验数据的分析研究,建立了动态调控决策模型,模型中除了本阶段措施因素外,还包括前期因素的影响。方程中从单个变量看,大多数变量对因变量的影响都呈线性关系,表明该设计方法能更有效的揭示生产措施对作物群体的影响关系。所建立的模型既可用于调控决策,也可用于播前决策和生产预测,显示出该设计方法有较强的系统性和灵活性。

4)本研究也存在一定的局限性。只对群体综合指数的生物学特征作了粗略分析;为方便,本研究未

将其他有关作物田间计算机视觉技术方面的研究成果考虑进来;冬小麦的生长除了受人工调控措施的影响外,还受到自然条件的影响,由于试验条件限制,本研究所建立的调控决策模型还有许多重要因子,如气候条件、土壤养分、土壤水分等没有纳入;试验过程中有个别处理效应在进行田间调查时不能充分反映,对试验设计过程有些影响,只能在模型建立时进行处理。以上这些不足将在今后的应用研究中不断补充和完善。

### 参 考 文 献

- [1] 曹卫星. 作物智能栽培学:信息科学与作物栽培学的结合[J]. 科技导报,2000(1):37-40
- [2] 王兴仁,张福锁. 现代肥料试验设计[M]. 北京:中国农业出版社,1996:99
- [3] 张健钦,屈平,邝朴生. 计算机视觉技术在杂草识别中的应用研究进展[J]. 河北大学学报(自然科学版),2002,22(4):410-414
- [4] 吴素霞. 中国农作物长势遥感监测研究综述[J]. 中国农学通报,2005,21(3):319-345
- [5] 杨邦杰,裴志远. 农作物长势的定义与遥感监测[J]. 农业工程学报,1999,15(3):214-218
- [6] 雷振生,林作揖. 黄淮麦区高产小麦品种产量结构及其生理基础的研究[J]. 华北农学报,1996,11(1):70-75
- [7] 张秋英,李发东,刘猛雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):95-98
- [8] 吴富宁,朱虹,郑丽敏,等. 计算机辅助小麦图像识别应用中颜色特征基本参量的表达[J]. 农业网络信息,2004(4):10-14
- [9] 吴富宁. 图像处理技术在冬小麦氮营养诊断中的应用[D]. 北京:中国农业大学,2004
- [10] Ahmad I S, Reid J F. Evaluation of colour representations for maize images[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 63(3): 185-196