

播期和密度对白银沿黄灌区冬小麦产量的影响

俞华林, 杨继忠, 郑彩霞, 赵宝颢, 师学豪

(白银市农业科学研究所, 甘肃 白银 730900)

摘要: 采用饱和D最优设计, 在白银沿黄灌区试验分析了播期与密度对冬小麦产量的影响。结果表明, 随着播期的推迟, 小麦产量降低; 在一定范围内, 通过增加密度可以提高小麦成穗数, 进而达到提高产量的目的。小麦产量在6 300 kg/hm²以上时, 95%的置信区间播期为-0.855 9~0.054 7, 密度为-0.275 4~0.672 8, 相应的播期在9月17日至9月29日、密度为231.52~338.19 kg/hm²时增产效果为佳。

关键词: 冬小麦; 播期; 密度; 产量; 饱和 D 最优设计

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)06-0018-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.06.006

Effect of Sowing Date and Density on Winter Wheat Yield in Baiyin Irrigation Area Along Yellow River

YU Hualin, YANG Jizhong, ZHENG Caixia, ZHAO Baoxie, SHI Xuehao

(Baiyin Institute of Agricultural Sciences, Baiyin Gansu 730900, China)

Abstract: The effects of sowing date and density on winter wheat yield were analyzed by saturated D optimal design in Baiyin Irrigation Area Along Yellow River. The results showed that wheat yield decreased with the delay of sowing date. In a certain range, the number of panicles can be increased by increasing the density, and then the yield can be increased. When wheat yield was above 6 300 kg/hm², the sowing date of 95% confidence interval was -0.855 9~0.054 7, and the density was -0.275 4~0.672 8. The corresponding sowing date was September 17 solstice on September 29, and the density was 231.52~338.19 kg/hm², which yield increase effect was best.

Key words: Winter wheat; Sowing date; Density; Yield; Saturated D-optimal design

小麦作为我国的重要粮食作物之一, 对保证国家粮食安全战略目标起着极为重要的作用^[1], 随着国家提出黄河流域生态保护与高质量发展的战略, 白银沿黄灌区开始引种冬小麦, 主要是由于冬小麦收获后复种蔬菜可以提高经济效益, 且可增加冬春季节的覆盖度, 防止水土流失和沙尘暴危害, 具有良

好的生态效益。播期和密度是影响小麦群体性状、农艺性状、产量和品质的重要因素^[2]。同期播种的不同品种其适宜种植密度不同^[3], 但不同地区间播期和密度对产量构成因素的影响不同^[4-5], 种植密度过高或过低均会影响小麦的产量和品质^[6]。近年来随着全球气候变暖, 不同地区的生态环境

收稿日期: 2021-01-04

基金项目: 甘肃省现代农业科技支撑体系区域创新中心重点科技项目(2020GAAS04); 白银市科技计划项目(2016-2-26N)。

作者简介: 俞华林(1984—), 男, 甘肃皋兰人, 农艺师, 主要从事小麦育种工作。联系电话: (0)18368967662。Email: 526656669@qq.com。

通信作者: 杨继忠(1965—), 男, 甘肃会宁人, 高级农艺师, 主要从事小麦育种工作。Email: 13830039895@163.com。

均有不同程度的改变,有关白银沿黄灌区冬小麦适宜播种时间和种植密度尚不确定。我们采用两因素二项饱和 D 最优试验设计,研究不同播期和种植密度对冬小麦产量极其构成的影响,旨在为确定白银沿黄灌区冬小麦适宜的播期和密度,加快冬小麦在白银沿黄灌区的推广及冬小麦高产优质栽培提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

指示冬小麦品种为轮选 169,由白银市农业科学研究所提供。

1.2 试验区基本概况

试验于 2017—2018 年指在靖远县刘川镇来窑村进行。海拔 1 763 m,前茬萝卜,土质沙壤,耕层土壤含有机质 19.84 g/kg、全氮 0.89 g/kg、全磷 1.37 g/kg、氧化钾 16.13 g/kg、碱解氮 49.45 mg/kg、速效磷 35.37 mg/kg、速效钾 74.14 mg/kg。

1.3 试验方法

试验采用两因素二项饱和 D 最优试验设计(表 1)^[7]。对各因素的水平进行编码,把各因素有量纲的自然变量 z_j 变成无量纲的规范变量 x_j ,播期编码值用 x_1 表示,密度时间编码值用 x_2 表示,进行线性变换,其公式为:

$$\text{编码值 } x_j = (z_j - z_{0j}) / \Delta_j \quad \text{故: } z_j = x_j \times \Delta_j + z_{0j}$$

其中 z_{0j} = 该因素的(上限水平+下限水平)/2

Δ_j = 该因素的(上限水平- z_{0j})/1

根据以上已知数据,对播期和密度分别进行编码,求出各自的编码值 x_j 与自然变量 Z_j 的对应值。

表 1 因素水平

水平	因素	
	播种天数 /d	密度 /(kg/hm ²)
上限	26	375
下限	0	150

根据水平编码值,试验设 6 个处理(表 2),其中播期设 9 月 15 日、9 月 25 日、10 月 2 日、10 月 10 日 4 个水平,密度设 150、248、307、375 kg/hm² 4 个水平。播种行距为 15 cm,小区面积为 20 m²(5 m × 4 m),3 次重复,周围设 1 m 宽保护行。播前施磷酸二铵 300 kg/hm²、普通过磷酸钙 600 kg/hm²、尿素 300 kg/hm²,结合灌二水追施尿素 425 kg/hm²。生育期灌水 4 次,中耕除草 3 次,防治蚜虫 1 次。其他管理同当地大田。

表 2 小麦播期与密度二因素 D 饱和最优试验设计方案

处理	水平编码值		水平	
	x_1	x_2	播期 /(日/月)	密度 /(kg/hm ²)
1	-1	-1	15/9	150
2	1	-1	10/10	150
3	-1	1	15/9	375
4	λ	λ	25/9	307
5	1	μ	10/10	248
6	μ	1	2/10	375

1.4 测定项目及方法

每小区去掉边行收获计产。成熟期在田间采用 1 m 双行测定有效穗数,每小区取 60 穗室内考种统计穗粒数,籽粒风干后用电子天平称重取平均值,统计数据均为 3 个重复的平均值。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期和密度对小麦产量及其构成要素影响的反应方程式建立与检验

以 y 为目标性状,采用二次多项式建立播期与密度的数学模型。

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_2^2 + b_5 x_1 x_2$$

式中, x_1 为播种期(日/月), x_2 为播种密度(kg/hm²), b_i ($i=0, 1, 2, \dots, 5$) 为回归系数, y 为目标性状^[8]。

2.1.1 播期和密度对小麦产量影响的反应方

程式建立与检验 由表 3 中的小麦产量可求得轮选 169 的产量与播期和密度之间的多元回归方程:

$$y=6\ 659.329-292.833x_1+63.667x_2-188.618x_1^2-365.544x_2^2-21.833x_1x_2 \quad (1)$$

对所得方程进行回归式显著性检验, $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})$, $Q\text{回}=\sum\sum(\hat{Y}-\bar{Y})^2$, $Q\text{误}=\sum\sum(Y_{ij}-i)^2$, $f\text{回}=6-1=5$, $f\text{误}=10$, 其中 Y_{ij} 为第 i 个处理第 j 个重复数值, \bar{Y}_i 为第 i 个处理各重复的平均值, \hat{Y} 为回归值, \bar{Y} 为总平均值。计算 F 值: $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})=(1479002.5/5)/(45895/10)=64.45>F_{0.01}(5, 10)=5.64$, 差异达极显著水平, 则方程成立, 所建立方程可靠, 可用于生产中产量及优化栽培方案选择。

2.1.2 播期和密度对成穗数影响的反应方程式建立与检验 由表 3 中的小麦成穗数, 可求得轮选 169 的成穗数与播期和密度之间的多元回归方程为:

$$y=687.055-67.633x_1+27.867x_2-37.429x_1^2-27.759x_2^2+19.867x_1x_2 \quad (2)$$

对所得方程进行回归式显著性检验, $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})$, $Q\text{回}=\sum\sum(\hat{Y}-\bar{Y})^2$, $Q\text{误}=\sum\sum(Y_{ij}-i)^2$, $f\text{回}=6-1=5$, $f\text{误}=10$, 其中 Y_{ij} 为第 i 个处理第 j 个重复数值, \bar{Y}_i 为第 i 个处理各重复的平均值, \hat{Y} 为回归值, \bar{Y} 为总平均值。计算 F 值: $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})=(83696.5/5)/(834.5/10)=$

$200.59>F_{0.01}(5, 10)=5.64$, 差异达极显著水平, 则方程成立。

2.1.3 播期和密度对穗粒数影响的反应方程式建立与检验 由表 3 中的小麦穗粒数, 可求得轮选 169 的穗粒数与播期和密度之间的多元回归方程为:

$$y=33.152-1.488x_1-0.438x_2+0.187x_1^2-1.276x_2^2+0.812x_1x_2 \quad (3)$$

对所得方程进行回归式显著性检验, $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})$, $Q\text{回}=\sum\sum(\hat{Y}-\bar{Y})^2$, $Q\text{误}=\sum\sum(Y_{ij}-\bar{Y}_i)^2$, $f\text{回}=6-1=5$, $f\text{误}=10$, 其中 Y_{ij} 为第 i 个处理第 j 个重复数值, \bar{Y}_i 为第 i 个处理各重复的平均值, \hat{Y} 为回归值, \bar{Y} 为总平均值。计算 F 值: $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})=(39.985/5)/(1.9/10)=42.09>F_{0.01}(5, 10)=5.64$, 差异达极显著水平, 则方程成立。

2.1.4 播期和密度对千粒重影响的反应方程式建立与检验 由表 3 中小麦的千粒重, 可求得轮选 169 的千粒重与播期和密度之间的多元回归方程为:

$$y=41.158-0.398x_1-0.098x_2-0.66x_1^2-0.046x_2^2-0.648x_1x_2 \quad (4)$$

对所得方程进行回归式显著性检验, $F(\text{回归})=(Q\text{回}/f\text{回})/(Q\text{误}/f\text{误})$, $Q\text{回}=\sum\sum(\hat{Y}-\bar{Y})^2$, $Q\text{误}=\sum\sum(Y_{ij}-\bar{Y}_i)^2$, $f\text{回}=6-1=5$, $f\text{误}=10$, 其中 Y_{ij} 为第 i 个处理第 j 个重复数值, \bar{Y}_i 为第 i 个处理各重复的平均值, \hat{Y} 为

表 3 小麦产量及构成要素调查值

编号	播期 (日/月)	密度 (kg/hm ²)	成穗数 (10 ⁴ /hm ²)	穗粒数 /粒	千粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
1	15/9	150	681.5	34.8	40.3	6 312.5
2	10/10	150	506.5	30.2	40.8	5 570.5
3	15/9	375	697.5	32.3	41.4	6 483.5
4	25/9	307	691.5	33.4	41.2	6 679.5
5	10/10	248	596.5	31.8	39.8	6 137.5
6	2/10	375	662.5	31.2	40.5	6 204.0

回归值, \bar{Y} 为总平均值。计算 F 值: $F(\text{回归}) = (Q \text{回} / f \text{回}) / (Q \text{误} / f \text{误}) = (5.28/5) / (1.66/10) = 6.36 > F_{0.01}(5, 10) = 5.64$, 差异达极显著水平, 则方程成立。

2.2 播期对小麦产量及产量构成因素的影响

2.2.1 播期对小麦产量的影响

在方程(1)中, 将密度编码设为零, 则可得到关于播期与小麦产量的一元二次方程为:

$$y = 6659.329 - 292.833x_1 - 188.618x_1^2 \quad (5)$$

从一元二次方程(5)可以得出, 函数以 $x = -0.776$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_1 在 $[-1, -0.776]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而增大, 即在此范围内小麦产量随播期推迟而上升; 当 x_1 在 $[-0.776, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而减小, 即在此范围内小麦产量随播期的推迟而下降。

2.2.2 播期对小麦成穗数的影响

在方程(2)中, 将密度编码设为零, 则可得到关于播期与小麦成穗数的一元二次方程为:

$$y = 687.055 - 67.633x_1 - 37.429x_1^2 \quad (6)$$

从一元二次方程(6)式可以得出, 函数以 $x = -0.903$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_1 在 $[-1, -0.903]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而增大, 即在此范围内小麦成穗数随播期推迟而上升; 当 x_1 在 $[-0.903, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而减小, 即在此范围内小麦成穗数随播期的推迟而下降。

2.2.3 播期对小麦穗粒数的影响

在方程(3)中, 将密度编码设为零, 则可得到关于播期与小麦穗粒数的一元二次方程为:

$$y = 33.152 - 1.488x_1 + 0.187x_1^2 \quad (7)$$

从一元二次方程(7)式可以得出, 函数以 $x = 3.979$ 为对称轴, 函数开口向上。当 x_1 在 $[-1, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而减小, 即在此范围内小麦穗粒数随播期推迟而下降。

2.2.4 播期对小麦千粒重的影响

在方程(4)中, 将密度编码设为零, 则可得到关于

播期与小麦千粒重的一元二次方程为:

$$y = 6659.329 - 292.833x_1 - 188.618x_1^2 \quad (8)$$

从一元二次方程(8)式可以得出, 函数以 $x = -0.302$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_1 在 $[-1, -0.302]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而增大, 即在此范围内小麦千粒重随播期推迟而上升; 当 x_1 在 $[-0.302, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_1 的增大而减小, 即在此范围内小麦千粒重随播期的推迟而下降。

2.3 密度对小麦产量及产量构成要素的影响

2.3.1 密度对小麦产量的影响

在方程(1)式中, 将播期编码设为零, 则可得到关于密度与小麦产量的一元二次方程为:

$$y = 6659.329 + 63.667x_2 - 365.544x_2^2 \quad (9)$$

从一元二次方程(9)式可以得出, 函数以 $x = 0.087$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_2 在 $[-1, 0.087]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而增大, 即在此范围内小麦产量随密度增加而上升; 当 x_2 在 $[0.087, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而减小, 即在此范围内小麦产量随密度的增加而下降。

2.3.2 密度对小麦成穗数的影响

在方程(2)中, 将播期编码设为零, 则可得到关于密度与小麦成穗数的一元二次方程为:

$$y = 687.055 + 27.867x_2 - 27.759x_2^2 \quad (10)$$

从一元二次方程(10)式可以得出, 函数以 $x = 0.502$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_2 在 $[-1, 0.502]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而增大, 即在此范围内小麦成穗数随密度增加而上升; 当 x_2 在 $[0.502, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而减小, 即在此范围内小麦成穗数随密度的增加而下降。

2.3.3 密度对小麦穗粒数的影响

在方程(3)中, 将播期编码设为零, 则可得到关于密度与小麦穗粒数的一元二次方程为:

$$y = 33.152 - 0.438x_2 - 1.276x_2^2 \quad (11)$$

从一元二次方程(11)式可以得出, 函数以 $x = -0.172$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_2

在 $[-1, -0.172]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而增大, 即在此范围内小麦穗粒数随密度增加而上升; 当 x_2 在 $[-0.172, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而减小, 即在此范围内小麦穗粒数随密度的增加而下降。

2.3.4 密度对小麦千粒重的影响 在方程(4)中, 将播期编码设为零, 则可得到关于密度与小麦千粒重的一元二次方程为:

$$y=41.158-0.098x_2-0.046x_2^2 \quad (12)$$

从一元二次方程(12)式可以得出, 函数以 $x=-1.065$ 为对称轴, 函数开口向下。当 x_2 在 $[-1, 1]$ 范围内, 函数 y 值是随 x_2 的增大而减小, 即在此范围内小麦千粒重随密度增加而减小。

2.4 播期与密度最优选择

将 4 个编码值两两组合, 形成 16 个全因子试验, 分别代入方程(1)式中的 x_1 和 x_2 中, 即可模拟出 16 个试验结果(表4), 其中包括已经实施的 6 个试验在内。根据生产实践, 本试验产量在 $6\ 300\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上的组合均为最优组合, 从 16 个组合中选出满足约

表 4 模拟试验结果

编号	组编码		产量 /(kg/hm^2)
	x_1	x_2	
1	-1	-1	6 312.5
2	-1	-0.131 5	6 745.9
3	-1	0.394 4	6 740.4
4	-1	1	6 483.5
5	-0.131 5	-1	6 262.5
6	-0.131 5	-0.131 5	6 679.5
7	-0.131 5	0.394 4	6 663.9
8	-0.131 5	1	6 395.6
9	0.394 4	-1	6 093.9
10	0.394 4	-0.131 5	6 500.9
11	0.394 4	0.394 4	6 529.9
12	0.394 4	1	6 204.1
13	1	-1	5 770.5
14	1	-0.131 5	6 166.1
15	1	0.394 4	6 137.5
16	1	1	5 854.2

束条件的组合为 9 个。对入选的 9 个最优组合进行平均数、标准差、标准误、95%的置信区间以及播期和密度的计算。

$$\text{平均数计算: } \bar{X}_n=(a_1+a_2+a_3+a_n)/n$$

$$\text{播期 } \bar{X}_1=[(-1)\times 4+(-0.131\ 5)\times 3+0.394\ 4\times 2+1\times 0]\div 9=-0.400\ 6$$

$$\text{密度 } \bar{X}_2=[(-1)\times 1+(-0.131\ 5)\times 3+0.394\ 4\times 3+1\times 2]\div 9=0.198\ 7$$

$$\text{标准差按公式 } S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \text{ 计算得:}$$

$$\text{播期 } S_1=0.603\ 9, \text{ 密度 } S_2=0.628\ 7。$$

$$\text{标准误计算: } S_n=\bar{X}_n=\text{标准差 } S/\sqrt{n}$$

$$\text{播期 } S_1\bar{X}_1=0.603\ 9/3=0.201\ 3$$

$$\text{密度 } S_2\bar{X}_2=0.628\ 7/3=0.209\ 6$$

95%的置信区间计算: 95%的置信区间= $\bar{X}_n \pm t_{0.05} \times S\bar{X}_n$, 其中当自由度 $df=9$ 时, $t_{0.05}=2.262$ 。

$$\text{播期 } 95\% \text{ 的置信区间 } =-0.855\ 9\sim 0.054\ 7$$

$$\text{密度 } 95\% \text{ 的置信区间 } =-0.275\ 4\sim 0.672\ 8$$

将 95%的置信区间编码值换算成自然变量, 因为 $x_j=(z_j-z_0)/\Delta_j$, 所以

$$z_j=z_{0j}+x_j \times \Delta_j$$

$$\text{播期: } z_{0j}=13 \quad \Delta_j=13$$

$$\bar{X}_{1\text{下}}=13+(-0.855\ 9)\times 13=1.87,$$

$\bar{X}_{1\text{上}}=13+0.054\ 7\times 13=13.71$, 即播期在 9 月 17 日至 9 月 29 日

$$\text{密度: } z_{0j}=262.5 \quad \Delta_j=112.5$$

$$\bar{X}_{2\text{下}}=262.5+(-0.275\ 4)\times 112.5=231.52,$$

$$\bar{X}_{2\text{上}}=262.5+0.672\ 8\times 112.5=338.19, \text{ 即}$$

密度为 $231.52\sim 338.19\ \text{kg}/\text{hm}^2$

经计算可得出, 小麦产量在 $6\ 300\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上时, 两因素 95%的置信区间 x_1 为 $-0.855\ 9\sim 0.054\ 7$, x_2 为 $-0.275\ 4\sim 0.672\ 8$, 相应的播期在 9 月 17 日至 9 月 29 日、密度为 $231.52\sim 338.19\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 时效果为佳。

3 小结与讨论

通过采用播期与密度的饱和 D 最优设计, 分析播期与密度对冬小麦产量的影响。

播期对产量有显著的影响,增加密度能够在一定范围内增加穗数,进而增加产量。小麦产量在 $6\ 300\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上时,播期为9月17日至9月29日,密度为 $231.52\sim 338.19\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的效果为佳。

小麦产量的高低主要决定于单位面积有效穗数、穗粒数和千粒重,播期主要通过影响单株分蘖来影响穗数,最终影响产量,密度是决定穗数的主要因素^[9]。研究表明,在一定范围内,随播期推迟,小麦产量下降。在播种密度同为 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 时,9月15日播种的产量显著高于10月10日的产量,这是因为小麦晚播使生长发育所需要的积温不足,幼苗发育不良,造成穗数减少,进而影响小麦产量,这与张耀辉等^[10]、吕丽华等^[11]研究结果基本一致。一定范围内,随种植密度的增大,小麦产量增加。在播种日期同为9月15日时,播种密度为 $375\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的产量高于 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的产量,这是因为,增加种植密度能够在一定范围内增加穗数,进而增加产量^[12-14]。

本研究还表明,成穗数随着播期的推迟而下降,在一定范围内增加密度可以提高小麦成穗数,这与胡焕焕等^[15]研究结果一致;穗粒数随播期推迟而下降,在一定范围内随密度减小而上升,这与杨健等^[16]研究结果一致;千粒重在一定范围内随密度的增加而增加,播期对千粒重影响不大,这与杨健^[16]等研究结果不同,这可能与轮选169品种特性和白银沿黄灌区的气候有关,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨文雄. 中国西北春小麦[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [2] 王 炜, 陈 琛, 刘 风, 等. 播期播量对陇春31号籽粒性状的影响[J]. 中国种业, 2020(4): 53-56.
- [3] 刘 萍, 郭文善, 徐月明, 等. 种植密度对中、弱筋小麦籽粒产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 116-121.
- [4] 刘芳亮, 张保军, 张正茂, 等. 播期和密度对普冰151小麦籽粒产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(6): 1-7; 14.
- [5] 刘万代, 陈现勇, 尹 钧, 等. 播期和密度对冬小麦豫麦49-198群体性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 464-469.
- [6] 王 东, 于振文, 贾效成, 等. 播期对优质强筋冬小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2004(2): 25-26.
- [7] 张永成. 饱和D最优设计方法在农业试验中的应用[J]. 中国马铃薯, 1997(3): 44-49.
- [8] 高洪泽. 运用Excel建立二次饱和D-最优设计回归模型[J]. 现代农业科技, 2010(22): 20-21.
- [9] 赵广才, 常旭虹, 王德梅, 等. 小麦生产概况及其发展[J]. 作物杂志, 2018(4): 1-7.
- [10] 张耀辉, 宋建荣, 岳维云, 等. 陇南雨养旱区播期与密度对冬小麦产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 74-78.
- [11] 吕丽华, 梁双波, 张丽华, 等. 不同小麦品种产量对冬前积温变化的响应[J]. 作物学报, 2016, 42(1): 149-156.
- [12] 柴芳梅, 高甜甜, 柴守玺, 等. 种植密度对甘肃不同生态区小麦产量形成的影响[J]. 作物杂志, 2020(3): 154-160.
- [13] 马小黎, 刘建华, 钟新榕. 施肥量和种植密度对冬小麦叶面积及产量的调控[J]. 甘肃农业科技, 2019(7): 19-25.
- [14] 王希恩, 韩 瑜, 王德贤, 等. 播期与密度对旱地冬小麦天选55号产量及品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018(2): 51-55.
- [15] 胡焕焕, 刘丽萍, 李瑞奇, 等. 播种期和密度对冬小麦品种河822产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 490-495.
- [16] 杨 健, 张保军, 毛建昌, 等. 播期与密度对冬小麦西农9871籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 529-534.

(本文责编: 陈 伟)