

冬小麦新冬42号氮磷钾配施效应及用量研究

孙娜¹, 张胜军¹, 王彩荣^{1*}, 黄倩楠¹, 马尔合巴·艾司拜尔¹, 邹辉¹,
黄福巍², 阿勒合斯·加尔得木拉提¹

(1. 伊犁州农业科学研究所, 新疆 伊宁 835000; 2. 吉林农业大学, 长春 130118)

摘要:为探明冬小麦品种新冬42号在伊犁河谷冬小麦主产区氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)配施最佳用量,采用“3414”肥料效应试验设计方案,研究氮、磷、钾肥配施对新冬42号籽粒产量和经济效益的影响。结果表明,与对照(CK)相比,各配方施肥处理新冬42号的产量和经济效益均有提高,随着氮、磷、钾施肥水平的提高,新冬42号产量和效益均呈先增加后降低的趋势。14个处理中以N₂P₂K₂处理(N 165.60 kg/hm²、P₂O₅ 110.40 kg/hm²、K₂O 45.90 kg/hm²)的产量和经济效益最高,分别为8 036.03 kg/hm²和18 044.85元/hm²。经模型最优分析表明,采用三元肥效函数模型做出施肥决策是合理可行的,经回归模型的拟合得出推荐施肥量,达到最高产量(8 081.05 kg/hm²)时氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)的施肥量分别为190.04 kg/hm²、122.23 kg/hm²、53.10 kg/hm²;达到最佳经济效益(18 056.37元/hm²)时氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)的施肥量分别为171.03 kg/hm²、108.18 kg/hm²、44.77 kg/hm²。本研究结果可为伊犁河谷冬小麦合理施肥提供指导,为下一步建立施肥指标体系提供依据。

关键词:冬小麦;新冬42号;“3414”肥料试验;肥效模型;产量;施肥量

中图分类号:S512.1¹

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)04-0012-06

Study on the Effect and Dosage of Combined Application of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizers on Winter Wheat Cultivar XinDong 42

SUN Na¹, ZHANG Shengjun¹, WANG Cairong^{1*}, HUANG Qiannan¹, Marhoba·Esbayer¹, ZOU Hui¹,
HUANG Fuwei², Alheus·Galdemurati¹

(1. Ili Prefecture Institute of Agricultural Science, Yi'ning 835000; 2. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: With the aim to exploring optimum fertilizer dosage of nitrogen(N), phosphorus(P₂O₅) and potassium(K₂O) of winter wheat new cultivar XinDong 42 in Ili River Valley winter wheat cultivation area, the "3414" fertilizer experiment was carried to analyze the effects of nitrogen(N), phosphorus(P₂O₅) and potassium(K₂O) combined application dosage on grain yields and economic benefits of XinDong 42. The results showed that: compared with the control, the yields and economic benefits XinDong 42 were improved by each formula fertilization treatment. With the increase of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization levels, the variation trend of grain yields and economic benefits were increased firstly and decreased latterly. Among the 14 treatments, N₂P₂K₂ treatment (N 165.60 kg/ha, P₂O₅ 110.40 kg/ha, K₂O 45.90 kg/ha) had the highest yield and economic benefits, which was 8 036.03 kg/ha and 18 044.85 yuan/ha respectively. The optimal analysis of the model showed that it was reasonable and feasible to make the fertilization decision by using the ternary fertilizer efficiency function model. The recommended amount of fertilizer was obtained by fitting the regression function model. When the maximum yield (8 081.05 kg/ha) was reached, the fertilization amounts of nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O) were 190.04, 122.23 and 53.10 kg/ha, respectively. Nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O) fertilization amounts were 171.03, 108.18 and 44.77 kg/ha, respectively when the best economic benefit (18 056.37 yuan/ha) was achieved. These results will provide guidance for the rational fertilization of winter wheat in Ili River Valley and provide basis for the

收稿日期:2020-09-11

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金青年基金项目(2021D01B99)

作者简介:孙娜(1982-),女,高级农艺师,硕士,主要从事小麦遗传育种研究。

通讯作者:王彩荣,女,副研究员,E-mail: 1506813074@qq.com

establishment of fertilization index system in the future.

Key words: Winter wheat; XinDong 42; "3414" fertilizer experiment; Fertilizer model; Yield; Fertilization

近几年,伊犁河谷冬小麦播种面积平均保持在8万公顷左右,在保障新疆粮食安全中起到重要作用。肥料在作物的生长过程中发挥着重要作用^[1]。小麦产量提高的同时施肥量也在大幅度增加,过量施肥造成了肥料浪费、肥料利用率降低、土壤板结、农业生态环境污染,不利于农业可持续发展^[2-5]。合理施肥是影响小麦产量形成的重要因素。适宜的氮磷钾配施对小麦植株性状、产量及其构成因素和主要品质性状均有很大影响,对此,前人做了大量研究^[6-13]。“3414”试验设计利用肥料效应函数法、养分平衡法、土壤养分丰缺法等方法,通过三元二次方程拟合,构建施肥模型,从而进行施肥量和施肥配比的合理推荐^[14]。本研究以伊犁州农业科学研究所育成的冬小麦品种新冬42号为材料,采用“3414”实验设计,探讨不同氮磷钾施用量对其产量及经济效益的影响,旨在为伊犁河谷冬小麦高产栽培提供科学施肥依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

本试验在伊犁州农业科学研究所试验田进行,试验田前茬为红花。试验地土壤基本理化性状为:pH 8.00,有机质 1.78%,全氮 0.08%,全磷 0.27%,碱解氮 88.27 mg/kg,速效磷 40.84 mg/kg,速效钾 238.88 mg/kg。

1.2 供试材料

供试冬小麦品种为伊犁州农业科学研究所培育的冬小麦品种新冬42号。

1.3 试验方法

采用“3414”最优回归设计,即氮、磷、钾3个因素,4个水平(0水平为不施肥,2水平为当地最佳施肥量,1水平=2水平×0.5,3水平=2水平×1.5)。小区面积为20 m²(行长5 m,每小区20行,行距0.2 m),随机区组排列,共14个处理(见表1),3次重复。

表1 “3414”试验方案大田施肥量

序号	处理	养分(kg/hm ²)			施肥量(kg/hm ²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	尿素 (含N 46%)	重过磷酸钙 (含P ₂ O ₅ 46%)	颗粒硫酸钾 (含K ₂ O 40%)
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	0	0	0
2	N ₀ P ₂ K ₂	0	110.40	45.90	0	240	114.75
3	N ₁ P ₂ K ₂	82.80	110.40	45.90	180	240	114.75
4	N ₂ P ₀ K ₂	165.60	0	45.90	360	0	114.75
5	N ₂ P ₁ K ₂	165.60	55.20	45.90	360	120	114.75
6	N ₂ P ₂ K ₂	165.60	110.40	45.90	360	240	114.75
7	N ₂ P ₃ K ₂	165.60	165.60	45.90	360	360	114.75
8	N ₂ P ₂ K ₀	165.60	110.40	0	360	240	0
9	N ₂ P ₂ K ₁	165.60	110.40	22.95	360	240	57.45
10	N ₂ P ₂ K ₃	165.60	110.40	68.85	360	240	172.20
11	N ₃ P ₂ K ₂	248.40	110.40	45.90	540	240	114.75
12	N ₁ P ₁ K ₂	82.80	55.20	45.90	180	120	114.75
13	N ₁ P ₂ K ₁	82.80	110.40	22.95	180	240	57.45
14	N ₂ P ₁ K ₁	165.60	55.20	22.95	360	120	57.45

氮肥的50%作为基肥一次性施用,其余50%结合滴灌作为追施,钾肥均作为基肥一次施用。为防止肥水渗漏,小区四周起埂。人工播种,播量 5.25×10^6 粒/hm²。

1.4 测定项目及数据分析

试验期间,对新冬42号有效穗数、穗粒数、千粒重及籽粒产量进行测定。采用Excel 2013进行

数据统计和作图,DPS 15.10软件进行Duncan's单因素方差分析,并进行显著性检验,用DPS 15.10软件3414(x)实验设计统计分析进行回归方程建立与肥料最佳施用量分析。肥料成本按照尿素1.8元/kg,重过磷酸钙1.9元/kg,硫酸钾2.6元/kg,按含量折合N 3.91元/kg,P₂O₅ 4.13元/kg,K₂O 6.5元/kg,冬小麦价格为2.42元/kg计算。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾不同施用量对新冬42号产量及其构成因子的影响

土壤是作物养分的供应库,但土壤中各种养分的有效数量和比例一般与作物的需求相差较大,影响作物各组织器官的正常生长发育^[15-16]。对14个施肥处理的新冬42号小麦籽粒产量及其构成因子进行方差分析,表2结果表明,不同施肥处理对新冬42号小麦籽粒产量及其构成因子的影响均达到了极显著水平($P<0.01$)。

处理6($N_2P_2K_2$)产量最高,为8 036.03 kg/hm²,略高于处理10($N_2P_2K_3$,产量为8 010.02 kg/hm²),处理7($N_2P_3K_2$)和处理11($N_3P_2K_2$)产量次之,分别为

7 984.50 kg/hm²、7 976.48 kg/hm²。说明过量施用氮、磷、钾肥对新冬42号产量不仅没有促进作用,反而会导致产量下降。这4个处理之间产量差异不显著,但均极显著高于其他10个处理。不施肥的处理1($N_0P_0K_0$)产量最低,仅为5 135.35 kg/hm²,极显著低于其他处理,说明合理施肥是影响小麦产量形成的重要因素;不施氮肥处理2($N_0P_2K_2$)产量为6 557.07 kg/hm²,极显著高于对照处理1($N_0P_0K_0$),并极显著低于其他处理;不施磷肥处理4($N_2P_0K_2$)产量位于倒数第三位,极显著高于处理1和处理2,极显著低于其他处理;不施钾肥处理8($N_2P_2K_0$)产量位于倒数第六位,极显著高于处理12($N_1P_1K_2$),说明氮肥对新冬42号产量影响较大,磷肥次之,钾肥最小。

表2 不同施肥处理对新冬42号产量及其构成因子的影响

序号	处理	有效穗数($\times 10^4$ 穗/hm ²)	穗粒数(粒/穗)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
1	$N_0P_0K_0$	395.59±2.07Gh	28.88±0.53Gg	43.28±0.53Cd	5 135.35±64.90Hi
2	$N_0P_2K_2$	407.11±1.43Fg	31.53±0.98Ff	45.14±0.67ABCbed	6 557.07±23.92Gh
3	$N_1P_2K_2$	440.01±1.90BCc	35.05±0.55DEde	44.58±1.13BCcd	7 507.13±50.24De
4	$N_2P_0K_2$	445.58±2.00Bb	37.06±1.58CDed	45.30±0.20ABCbe	7 215.32±30.43Fg
5	$N_2P_1K_2$	427.32±3.57De	36.88±0.83CDcd	45.02±0.97BCbed	7 629.05±46.28Cc
6	$N_2P_2K_2$	456.55±3.49Aa	40.41±0.60ABa	46.81±0.82ABab	8 036.03±16.29Aa
7	$N_2P_3K_2$	457.22±2.08Aa	39.92±1.74ABab	45.14±1.19ABCbed	7 984.50±20.79Aa
8	$N_2P_2K_0$	425.57±2.29De	36.52±0.84CDcd	43.54±1.14Ccd	7 532.12±63.20CDde
9	$N_2P_2K_1$	435.48±2.77Cd	38.25±0.74BCbe	44.78±0.72BCcd	7 731.57±51.44Bb
10	$N_2P_2K_3$	443.85±4.34Bbc	39.82±0.39ABab	47.58±1.20Aa	8 010.02±21.96Aa
11	$N_3P_2K_2$	456.92±2.819Aa	41.23±1.14Aa	45.30±1.19ABCbe	7 976.48±21.80Aa
12	$N_1P_1K_2$	415.69±1.41Ef	33.90±1.04Efe	44.96±0.97BCbed	7 378.40±55.33Ef
13	$N_1P_2K_1$	414.08±2.44Ef	33.35±1.03EFef	44.48±0.17BCcd	7 588.37±57.54CDed
14	$N_2P_1K_1$	440.38±0.39BCc	36.78±1.59CDcd	44.42±1.42BCcd	7 766.68±27.06Bb

注:小写字母不同表示差异达5%显著水平,大写字母不同表示差异达1%显著水平

氮、磷、钾施用量对产量构成因子的影响均达到极显著水平。处理6($N_2P_2K_2$)、处理7($N_2P_3K_2$)和处理11($N_3P_2K_2$)有效穗数较高,极显著高于其他处理,这3个处理有效穗数差异不显著。处理4($N_2P_0K_2$)除与处理10($N_2P_2K_3$)有效穗数差异不显著外,均极显著或显著高于其他处理。对照处理1($N_0P_0K_0$)的有效穗数极显著低于其他13个处理。不同施肥处理对穗粒数也有较大影响。处理11($N_3P_2K_2$)穗粒数最高,为41.23粒/穗,处理6($N_2P_2K_2$)次之,为40.41粒/穗,处理7($N_2P_3K_2$)为39.92粒/穗,处理10($N_2P_2K_3$)为39.82粒/穗,4个处理之间差异也不显著;对照处理1($N_0P_0K_0$)的穗粒数最低,极显著低于其他13个处理;处理2($N_0P_2K_2$)、处理12($N_1P_1K_2$)和处理13($N_1P_2K_1$)的穗

粒数极显著高于对照,显著或极显著低于其他处理,说明穗粒数受氮肥施用量影响较大。处理10($N_2P_2K_3$)的千粒重最高,除与处理6($N_2P_2K_2$)之间差异不显著外,显著或极显著高于其他处理;对照处理1($N_0P_0K_0$)极显著低于处理10($N_2P_2K_3$)和处理6($N_2P_2K_2$),与其他处理差异未达到极显著水平,说明新冬42号千粒重受氮、磷、钾施肥量的影响,但影响较小。

2.2 氮磷钾不同施用量对新冬42号经济效益的影响

2020年,尿素单价为1.8元/kg,重过磷酸钙单价为1.9元/kg,硫酸钾单价为2.6元/kg,小麦单价为2.42元/kg。通过对各施肥处理增产效益分析(见表3),配方施肥与不施肥对照比较,配方施肥

表3 不同施肥处理对新冬42号经济效益的影响

序号	处理	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)	增产 (kg/hm ²)	肥料增加 (kg/hm ²)	投入增加 (元/hm ²)	经济效益 (元/hm ²)	增效 (元/hm ²)
1	N ₀ P ₀ K ₀	5 135.35	12 427.55	-	-	-	12 427.55	-
2	N ₀ P ₂ K ₂	6 557.07	15 868.10	3 440.55	354.75	754.35	15 113.75	2 686.20
3	N ₁ P ₂ K ₂	7 507.13	18 167.26	5 739.72	534.75	1 078.35	17 088.91	4 661.37
4	N ₂ P ₀ K ₂	7 215.32	17 461.07	5 033.52	474.75	946.35	16 514.72	4 087.17
5	N ₂ P ₁ K ₂	7 629.05	18 462.30	6 034.75	594.75	1 174.35	17 287.95	4 860.40
6	N ₂ P ₂ K ₂	8 036.03	19 447.20	7 019.65	714.75	1 402.35	18 044.85	5 617.30
7	N ₂ P ₃ K ₂	7 984.50	19 322.49	6 894.94	834.75	1 630.35	17 692.14	5 264.59
8	N ₂ P ₂ K ₀	7 532.12	18 227.72	5 800.18	600.00	1 104.00	17 123.72	4 696.18
9	N ₂ P ₂ K ₁	7 731.57	18 710.39	6 282.84	657.45	1 253.37	17 457.02	5 029.47
10	N ₂ P ₂ K ₃	8 010.02	19 384.24	6 956.69	772.20	1 551.72	17 832.52	5 404.97
11	N ₃ P ₂ K ₂	7 976.48	19 303.09	6 875.54	894.75	1 726.35	17 576.74	5 149.19
12	N ₁ P ₁ K ₂	7 378.40	17 855.73	5 428.18	414.75	850.35	17 005.38	4 577.83
13	N ₁ P ₂ K ₁	7 588.37	18 363.85	5 936.30	477.45	929.37	17 434.48	5 006.93
14	N ₂ P ₁ K ₁	7 766.68	18 795.37	6 367.83	537.45	1 025.37	17 770.00	5 342.46

的肥料投入 354.75~894.75 kg/hm², 增加投入 754.35~1 726.35 元/hm², 增产 3 440.55~7 019.65 kg/hm², 产出效益增加 2 686.20~5 617.30 元/hm²。其中处理6(N₂P₂K₂)获得经济效益最大,为18 044.85 元/hm², 增加效益 5 617.30 元/hm²; 处理2(N₀P₂K₂)的增效最少,仅为2 686.20 元/hm²。可见,通过测土配方施肥,小麦生产达到了预期增产增效的目的。

2.3 地力分析

表4结果表明,N₂P₂K₂的产量最高,达8 036.03 kg/hm²,比不施肥处理增产56.48%,说明氮、磷、钾

的互作效应最高;N₂P₂K₀的产量次之,为7 532.12 kg/hm²,比不施肥处理增产46.67%,说明氮、磷互作效应仅次于氮、磷、钾的互作效应;N₂P₀K₂增产率为40.50%,而N₀P₂K₂增产率只有27.68%,说明磷、钾互作效应最低。不施肥处理产量为N₂P₂K₂产量的63.90%,N₀P₂K₂产量为N₂P₂K₂产量的81.60%,N₂P₀K₂产量为N₂P₂K₂产量的89.79%,说明土壤中全氮和有效磷含量中等偏高水平;而N₂P₂K₀的产量为N₂P₂K₂产量的93.73%,说明土壤中富钾。

表4 肥料互作效应和地力养分丰缺情况分析

效应类型	施肥水平(kg/hm ²)			产量(kg/hm ²)	增产率(%)	产量百分比(%)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
不施肥(CK)	0	0	0	5 135.35	-	63.90
N ₀ P ₂ K ₂	0	110.40	45.90	6 557.07	27.68	81.60
N ₂ P ₀ K ₂	165.60	0	45.90	7 215.32	40.50	89.79
N ₂ P ₂ K ₀	165.60	110.40	0	7 532.12	46.67	93.73
N ₂ P ₂ K ₂	165.60	110.40	45.90	8 036.03	56.48	-

2.4 回归方程建立与肥料最佳施用量分析

根据14个施肥处理新冬42号籽粒产量及当地2020年肥料和小麦价格,即N 3.91元,P₂O₅ 4.13元,K₂O 6.5元,冬小麦价格为2.42元/kg,经回归分析,分别建立一元二次、二元二次和三元二次施肥量和产量之间的效应方程,由方程求解极值得出最佳产量施肥方案和最佳经济效益施肥方案。

2.4.1 氮肥效应

在磷、钾肥水平不变的情况下,根据不施氮处

理(N₀P₂K₂)、低氮处理(N₁P₂K₂)、正常氮处理(N₂P₂K₂)、过量施氮处理(N₃P₂K₂)及新冬42号产量,通过回归分析得出氮肥施用量与产量之间的回归方程 $y = -0.0368x^2 + 14.927x + 6548.7$ (R²=0.999) (见图1)。该试验点复测定系数R²=0.999较大,说明方程拟合程度较好。从图1可以看出,随着氮肥施用量的增加,产量也在增加,但达到一定施氮量后,随着施氮量的增加,产量逐渐减少。根据氮肥效应方程和当年肥料、小麦价格计算得出,当

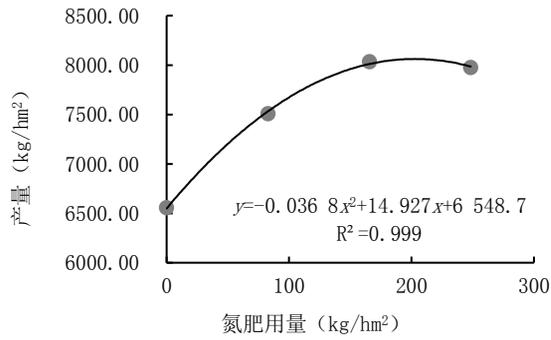


图1 新冬42号产量与氮肥施用量的回归曲线

氮肥施用量为202.81 kg/hm²时,新冬42号可获得最高产量,为8 062.39 kg/hm²;当施氮量为180.86 kg/hm²时,能够获得最大经济效益,为18 006.60元/hm²;此时冬小麦新冬42号产量为8 044.66 kg/hm²。

2.4.2 磷肥效应

在氮、钾肥料水平不变的情况下,根据不施磷处理(N₂P₀K₂)、低磷处理(N₂P₁K₂)、正常磷处理(N₂P₂K₂)、过量施磷处理(N₂P₃K₂)及新冬42号产量,通过回归分析得出磷肥施用量与产量之间的回归方程 $y = -0.0382x^2 + 11.239x + 7192.7$ ($R^2 = 0.9764$) (见图2)。该试验点复测定系数为 $R^2 = 0.9764$,方程拟合程度较好。根据磷肥效应方程和当年肥料、小麦价格计算得出,当磷肥施用量为147.11 kg/hm²时,可获得最高产量为8 019.37 kg/hm²;磷肥的最佳经济效益施肥量和产量分别为124.77 kg/hm²、8 000.31 kg/hm²,此时能够获得最大经济效益17 899.60元/hm²,新冬42号产量随磷肥施用量的增加呈先增高后降低的趋势。

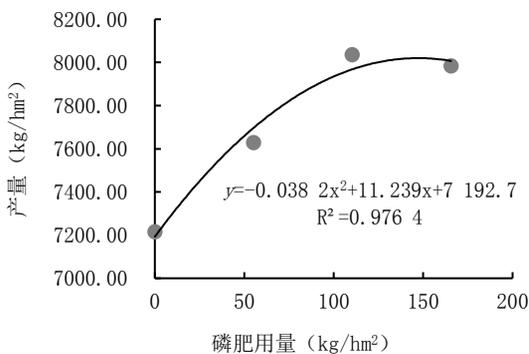


图2 新冬42号产量与磷肥施用量的回归曲线

2.4.3 钾肥效应

在氮、磷肥料水平不变的情况下,根据不施钾处理(N₂P₂K₀)、低钾处理(N₂P₂K₁)、正常钾处理(N₂P₂K₂)、过量施钾处理(N₂P₂K₃)及新冬42号产量,通过回归分析得出钾肥施用量与产量之间的回归方程 $y = -0.107x^2 + 14.942x + 7510.3$ ($R^2 = 0.9453$) (见图3)。该点复测定系数 $R^2 = 0.9453$,方程拟合程度较

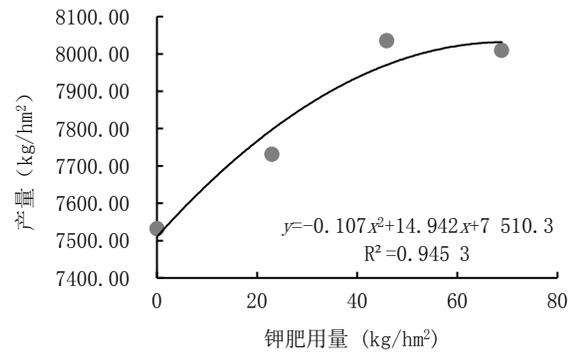


图3 新冬42号产量与钾肥施用量的回归曲线

好。根据钾肥效应方程和当年肥料、小麦价格计算得出,当钾肥施用量为69.82 kg/hm²时,新冬42号可以获得最高产量为8 031.94 kg/hm²;当钾肥施用量为57.27 kg/hm²时,可以获得最大经济效益为17 920.80元/hm²,此时新冬42号的产量为8 015.08 kg/hm²。从图3可以看出,新冬42号产量也是随着钾肥施用量的增加先升高后降低。

2.4.4 各肥料间的互效作用

根据“3414”试验设计方案,采用二元二次方程对本研究的氮、磷、钾肥直接的互效作用进行了分析。在钾肥固定在正常水平(45.90 kg/hm²)的前提下,获得氮、磷二元二次效应方程 $y = 6379.7259 + 10.5724N + 5.9025P - 0.0342N^2 - 0.0387P^2 + 0.0329NP$ ($R^2 = 0.9891$),在获得最佳产量8 167.71 kg/hm²的时候,氮肥施用量为234.36 kg/hm²,磷肥施用量为165.60 kg/hm²;最优经济效益施肥方案:施氮量为196.89 kg/hm²,施磷量为137.69 kg/hm²的时候,可获得最大经济效益18 271.78元/hm²。

磷肥固定在正常水平(110.40 kg/hm²),获得氮、钾二元二次效应方程 $y = 7138.6661 + 7.9271N + 7.6021K - 0.0343N^2 - 0.1096K^2 + 0.1373NK$ ($R^2 = 0.9845$),求得最佳产量为8 294.46 kg/hm²的时候,施氮量为247.99 kg/hm²,钾肥施用量为68.85 kg/hm²;最优经济效益施肥方案为施氮231.59 kg/hm²,施钾68.85 kg/hm²,获得最大经济效益18 683.36元/hm²。

氮肥固定在165.60 kg/hm²,得到磷、钾二元二次效应方程 $y = 7806.7011 + 1.1997P + 9.3696K - 0.0346P^2 - 0.0842K^2 + 0.2041PK$ ($R^2 = 0.9609$),求得最佳产量8 339.39 kg/hm²,磷肥施用量为165.60 kg/hm²,钾肥施用量为68.85 kg/hm²,最优经济效益施肥方案为施磷165.60 kg/hm²,施钾68.85 kg/hm²,即可获得最大经济效益18 891.41元/hm²。

将产量设定为目标 y ,对数据拟合,得到效应方程 $y = 5163.8235 + 16.4603N + 15.5020P + 15.2801K - 0.0409N^2 -$

$1.053 8P^2 - 0.195 4K^2 - 0.016 1NP + 0.020 1NK + 0.013 5PK$ 。对方程进行显著性检验, $F_{NPK} = 222.53 (P < 0.01)$, $R_{NPK}^2 = 0.984 3$, 产量与施肥量之间有极显著的回归关系, 方程二次项系数均为负, 一次项系数均为正, 符合肥料报酬递减律, 方程拟合成功。

由氮、磷、钾三元二次方程可知, 氮、磷、钾肥配施对冬小麦产量效应有主效应也有互作效应, 氮肥、磷肥、钾肥的主效应系数分别为 16.460 3、15.502 0、15.281 0, 主效应表现为正效应; 氮肥与磷肥、氮肥与钾肥、磷肥与钾肥交互效应系数分别为 -0.016 1、0.020 1、0.013 5, 氮肥与磷肥之间表现为负效应, 氮肥与钾肥、磷肥与钾肥之间表现为正效应。主效应系数均大于互作效应系数绝对值, 说明主效应作用明显, 效应大小: 氮肥主效应 > 磷肥主效应 > 钾肥主效应, 氮钾互作效应 > 氮磷互作效应 > 磷钾互作效应。

通过氮、磷、钾三元二次方程优化分析得出, 最佳产量的配方施肥方案为施氮、磷、钾分别在 190.04 kg/hm^2 、 122.23 kg/hm^2 、 53.10 kg/hm^2 时, 可达到最大籽粒产量 $8\ 081.05 \text{ kg/hm}^2$; 最佳经济效益配方施肥方案为施氮、磷、钾分别在 171.03 kg/hm^2 、 108.18 kg/hm^2 、 44.77 kg/hm^2 时, 可获得最大经济效益 $18\ 056.37 \text{ 元/hm}^2$ 。

3 结论与讨论

改善作物生长的矿质营养状况、保障作物健壮成长、确保作物获得高产可以通过平衡施用氮、磷、钾肥来实现^[17-18]。氮、磷、钾的平衡施用能够提高茎叶的光合性能, 促进光合产物向籽粒转移, 从而获得较高的经济产量^[19-21]。氮、磷、钾肥配合施用可以提高小麦的产量和经济效益, 这已经在前人试验研究中得到印证^[22-23]。本研究试验结果表明, $N_2P_2K_2$ 处理 ($N\ 165.60 \text{ kg/hm}^2$ 、 $P_2O_5\ 110.40 \text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O\ 45.90 \text{ kg/hm}^2$) 的产量和经济效益比其他用量处理均具有明显优势。

氮、磷、钾对作物生长发育及产量的提高起到一定的作用^[24]。但是, 并不是肥料的施用量越高, 产量就越高。本研究氮、磷、钾肥施用量与新冬42号籽粒产量的一元二次效应方程呈抛物线, 说明随着氮、磷、钾施肥水平的提高, 新冬42号籽粒产量均呈先增加后降低的趋势。这与前人的研究结果一致^[25-26]。进一步回归分析表明, 施用氮、磷、钾肥料对新冬42号籽粒产量的影响程度依次为 $N > P > K$, 即以氮肥效应最大, 表明氮肥是影响新冬42号籽粒产量的主要因素, 因此, 在冬小麦

生产中, 应重视氮肥的用量和比例。这与孙丽敏^[22]、孙彦铭等^[27]研究结果一致, 而钟秋瓚等^[25]对花生的研究结果表明, 单元素对产量的作用效果是 $N > K > P$ 。在互作效应方面, 本研究氮、磷、钾之间存在互作效应, 氮磷、氮钾互作效应高于磷钾互作效应, 这与钟秋瓚等^[25]对花生的研究结果不一致, 与鲁泽刚等^[28]对灯盏花的研究结果一致。

通过三元二次回归模型进行回归分析, 获得氮、磷、钾的肥料效应方程, 进而获得适于该土壤肥力冬小麦生产的氮、磷、钾配比最佳方案, 即最佳产量施肥方案为施 N 、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 190.04 kg/hm^2 、 122.23 kg/hm^2 、 53.10 kg/hm^2 , 可达到冬小麦最大籽粒产量 $8\ 081.05 \text{ kg/hm}^2$; 最佳经济效益施肥方案为施 N 、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 171.03 kg/hm^2 、 108.18 kg/hm^2 、 44.77 kg/hm^2 , 可获得最大经济效益 $18\ 056.37 \text{ 元/hm}^2$ 。本研究可为伊犁河谷的冬小麦生产提供理论指导, 但不同生态区不同土壤肥力水平冬小麦的氮、磷、钾配施方案还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李乐, 孙海, 刘政波, 等. 微生物肥料的作用、机理及发展方向[J]. 东北农业科学, 2016, 41(4): 63-69.
- [2] 徐霞, 赵亚南, 黄玉芳, 等. 不同地力水平下的小麦施肥效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(21): 4076-4086.
- [3] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [4] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [5] 何春霖, 郭丽丽, 王利书, 等. 秸秆还田下水肥管理模式对冬小麦气体交换参数及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(5): 40-46.
- [6] Hussain M L, Shan S H, Sajjad H, et al. Growth, yield and quality response of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to different levels of N, P and K[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2002, 4(3): 362-364.
- [7] Singh A K, Jain G L. Effect of sowing time, irrigation and nitrogen on grain yield and quality of durum wheat (*Triticum durum*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2000, 70(8): 532-533.
- [8] Sanjeev K, Rajender K, Harbir S. Influence of time sowing and NP fertilization on grain quality of macaroni wheat (*Triticum durum*) [J]. Haryana Agricultural University, Journal of Research, 2000, 32(1): 31-33.
- [9] 赵广才, 何中虎, 刘利华, 等. 肥水调控对强筋小麦中优9507品质与产量协同提高的研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(3): 351-356.
- [10] 张平平, 苗果园. 生土条件下冬小麦对氮、磷、钾的原始响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 156-161. (下转第66页)

- 京:中国农业科学技术出版社,2010:1.
- [2] Frank J A, Christ B J. Rate-limiting resistance to *Pyrenophora* leaf blotch in spring oats[J]. *Phytopathology*, 1988, 78(7): 957-960.
- [3] Clear R M, Patrick S K, Gaba D. Prevalence of fungi and fusariotoxins on oat seed from Western Canada, 1995-1997[J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2000, 22(3): 310-314.
- [4] Xue A G, Chen Y. Diseases of oat in central and Eastern Ontario in 2018[J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2019, 41(1)(Supplement): 87-88.
- [5] Cegiello M, Kiecana I, Kachlicki P, et al. Pathogenicity of *Drechslera avenae* for leaves of selected oat genotypes and its ability to produce anthraquinone compounds[J]. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 2011, 10(2): 11-22.
- [6] Silva M R, Martinelli J A, Federizzi L C, et al. Lesion size as a criterion for screening oat genotypes for resistance to leaf spot [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 134(2): 315-327.
- [7] 张笑宇,孙雪梅,周洪友,等.燕麦叶斑病原菌鉴定及其生物学特性[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(3): 473-480.
- [8] Carmona M A, Zweegman J, Reis E M. Detection and transmission of *Drechslera avenae* from oat seed[J]. *Fitopatologia Brasileira*, 2004, 29(3): 319-321.
- [9] Sheridan B J E, Tan P E T. Incidence and survival of *Pyrenophora avenae* in New Zealand seed oats[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1973, 16(2): 251-253.
- [10] 袁军海,曹丽霞,石碧红,等.冀西北地区燕麦主栽品种(系)对叶斑病抗性鉴定[J]. *中国植保导刊*, 2014, 34(2): 31-34.
- [11] Bocchese C A C, Martinelli J A, Federizzi L C, et al. Infection process and spot development on kernels of white oats with differentiated levels of resistance against *Pyrenophora chaetomioides*[J]. *Fitopatologia Brasileira*, 2006, 31(3): 284-290.
- [12] Dietz J I, Schierenbeck M, Simón M R. Impact of foliar diseases and its interaction with nitrogen fertilization and fungicides mixtures on green leaf area dynamics and yield in oat genotypes with different resistance[J]. *Crop Protection*, 2019, 121: 80-88.
- [13] Sheridan B J E, Whitehead J D, Spiers A G. Control of mercury-resistant *Pyrenophora avenae* on seed oats with methyl arsenic sulphide[J]. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 1973, 1(2): 127-130.
- [14] Sooväli P, Koppel M. Timing of fungicide application for profitable disease management in oat (*Avena sativa* L.) [J]. *Agriculture*, 2011, 98(2): 167-174.
- [15] 王 鹏,韩 娟,国淑梅,等.土壤微生物菌剂对大棚油桃植株特性的影响研究[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(2): 52-56.
- [16] 朱 峰,王继春,田成丽,等.枯草芽胞杆菌GB519发酵液菌体数量和芽胞率检测方法的比较[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(6): 49-52.

(责任编辑:王 昱)

(上接第17页)

- [11] 张俊华,张佳宝,李立平.基于冬小麦植被指数的氮肥调控技术研究[J]. *土壤学报*, 2007, 44(3): 550-555.
- [12] 李新伟,田 敏,肖 新,等.基于小麦养分快速诊断的施肥决策与控制系统设计[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(2): 23-27.
- [13] Arvind K S, Jagdish K L, Singh V K, et al. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a system perspective[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96: 1606-1621.
- [14] 吴 勇.河西灌区紫花苜蓿高效生产的施肥效应研究[D].兰州:甘肃农业大学,2021.
- [15] 陆景陵.植物营养学(上册)[M].北京:中国农业大学出版社,2002:35-37.
- [16] 谭金芳,张自立,邱慧珍.作物施肥原理与技术[M].北京:中国农业大学出版社,2003:29-43.
- [17] 魏双雨,李 敏,吉文丽,等.适宜氮磷钾用量和配比提高油用牡丹产量和出油量[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(5): 880-888.
- [18] 邓小强,邓金池,汪 亮.氮磷钾配施对杂交玉米禾玉9566农艺性状、产量与养分吸收利用的影响[J]. *作物杂志*, 2016(4): 156-161.
- [19] 吴 兵,高玉红,谢亚萍,等.氮磷配施对旱地胡麻干物质积累和籽粒产量的影响[J]. *核农学报*, 2017, 31(6): 1192-1199.
- [20] Mathe-Gaspar G, Radimsky L, Mathe P. Changes in growth parameters and water content of young canola in response to N fertilization on two site[J]. *Cereal Research Communications*, 2008, 36: 1495-1498.
- [21] 战秀梅,韩晓日,杨劲峰,等.不同氮、磷、钾肥用量对玉米源、库干物质积累动态变化的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(3): 495-499.
- [22] 孙丽敏,高 露,雷雅坤.河北省冬小麦氮磷钾肥产量效应研究[J]. *华北农学报*, 2018, 33(S1): 177-185.
- [23] 姚德龙.基于“3414”实验设计的夏玉米-冬小麦水肥效应研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [24] 田红梅.氮磷钾肥对甘薯产量品质影响及光合和养分积累的调控[D].重庆:西南大学,2016.
- [25] 钟秋瓚,陈荣华,方先兰,等.红壤旱地花生“3414”肥料试验施肥效应研究[J]. *花生学报*, 2013, 42(3): 16-22.
- [26] 王乐政,华方静,曹鹏鹏,等.氮磷钾配施对红小豆干物质积累、产量和效益的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(10): 2058-2067.
- [27] 孙彦铭,黄少辉,刘克桐,等.河北省冬小麦施肥效果与肥料利用率现状[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(6): 60-65.
- [28] 鲁泽刚,卢迎春,张广辉,等.氮磷钾配施对灯盏花产量和品质的影响及肥料效应[J]. *核农学报*, 2019, 33(3): 616-622.

(责任编辑:刘洪霞)