

响应面法分析氮磷钾肥对青稞品系 13-5171-7 产量的影响

同 坚,谈建鑫,负民政,降志兵,梁 莎

(省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室/西藏自治区农牧科学院农业研究所,西藏 拉萨 850000)

摘 要:为明确氮磷钾肥对青稞品系 13-5171-7 产量及产量因子的影响,利用响应面软件设计 CCD 三因素五水平优化试验,建立 13-5171-7 产量及因子模型,寻求最佳氮、磷、钾配施方案。结果表明回归模型显著,氮、磷、钾肥对 13-5171-7 产量构成因子均有显著影响,对千粒质量、穗粒数影响排序为 $N > K > P$, $P > N > K$; 当 N, P_2O_5, K_2O 施用量分别为 121.26, 220.80, 93.82 kg/hm² 时, 13-5171-7 产量最大,为 389.22 kg/667 m²。

关键词:青稞;氮肥;磷肥;钾肥;产量

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

Analyzing the Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizer on Barley 13-5171-7 Yield by Response Surface Methodology

TONG Jian¹, TAN Jianxin, YUN Minzheng, JIANG Zhibing, LIANG Sha

(State key Laboratory of Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement/ Institute of Agricultural Research, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850000, China)

Abstract: In order to clarify the impact of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the yield of highland barley line 13-5171-7, response surface software was used to design a CCD three factor and five level optimization experiment, establish a yield and factor model for 13-5171-7, and seek the optimal nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer combination scheme. The results showed that the regression model was significant, and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers had significant effects on the yield components of 13-5171-7. The order of effects on 1000-grain-weight and grain number per spike was $N > K > P$, $P > N > K$, respectively. When the application rates of N, P_2O_5 , and K_2O were 121.26, 220.80, and 93.82 kg/hm², respectively, the maximum yield of 13-5171-7 was 389.22 kg/667 m².

Key Words: highland barley; nitrogenous fertilizer; phosphate fertilizer; potassium fertilizer; yield

青稞是西藏农牧民群众主要的粮食作物,在西藏粮食生产中具有重要地位,提高青稞产量对保障西藏粮食安全、推进乡村振兴以及西藏的稳定、发展具有重要意义。作物产量受到品种遗传特性、环境条件和栽培技术措施的综合影响^[1],氮、磷、钾被称为肥料三要素,合理配施是获得作物高产的重要技术措施。韦泽秀等^[2]分析了 N 素水平对 13-5171-7 青稞生长及氮肥利用率的影响,阐明了 13-5171-7 产量随 N 素水平增加而先增加后降低, N 素施用量在 105 kg/hm² 时 13-5171-7 分蘖率较高,成

穗率最高,产量和氮肥农学效率最高;杨天赐等^[3]分析了播期、播种密度及肥料运筹对青稞产量及产量性状的影响,表明品种和播期的互作、播期和肥料运筹的互作对各性状影响均达极显著水平。卓玛等^[4]分析了 N, P, K, Si 配合施用对青稞产量和品质影响显著。上述文献分析了氮、磷对青稞的影响,以及肥料运筹对产量及各性状的影响。

氮、磷、钾之间存在复杂的作用^[5],前人研究以单一元素或两个元素对青稞产量及产量构成因素较多,在同一条件下开展不同营养元素效应的研究较少。栗瑞红等^[6]利用响应面法优化内蒙古黄芪施肥量;本研究利用响应面法 Central Composite Design 中心复合设计,研究了氮磷钾肥对青稞品系 13-5171-7 产量及产量因子的影响,提出最佳施肥量,以期完善青稞品系 13-5171-7 在不同生态区的

收稿日期:2023-03-23

基金项目:青稞新品种(系)高产高效栽培技术集成示范项目(XZ202101ZD0004N-04);青稞新品系 13-5171、13-6927 氮磷钾配施试验项目(2021-XZNYS-TCXM-0005)。

作者简介:同坚(1985-),男,高级农艺师,主要从事青稞栽培与示范,E-mail:tong.xz@foxmail.com。

配套栽培技术,为大面积推广应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年4月至8月在西藏农牧科学院4号试验地进行(91°06′,北纬29°36′,海拔3 650 m)。该地区属拉萨河流域,年平均温度为7.4℃,年日照时数3 000 h,年无霜期120 d,年降水量为200~510 mm,多集中在6~9月份,无霜期100~120 d,属高原温带半干旱季风气候。试验地0~20 cm土层土壤质地为砂壤土,有机质含量为25.33 g/kg,全氮2.27 g/kg,碱解氮147.89 mg/kg,全磷0.440 3 g/kg,有效磷5.117 mg/kg,全钾5.143 g/kg,速效钾50.23 mg/kg,pH值7.5。

1.2 试验材料

供试青稞材料为青稞品系13-5171-7;供试肥料为尿素(含N量≥46%,青海云天化国际化肥有限公司),过磷酸钙(含P₂O₅≥12%,甘肃白银虎豹化工有限公司),氯化钾(含K₂O≥60%,格尔木盛农复混肥有限责任公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 试验方法

响应面分析法,即响应曲面设计方法(Response Surface Methodology, RSM),是利用合理的试验设计方法并通过试验得到一定数据,采用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系,通过对回归方程的分析来寻求最优工艺参数,解决多变量问题的一种统计方法。本试验设计N(46%),P₂O₅(12%),K₂O(60%)三因素五水平20个非自由组合(表1)。青稞品系13-5171-7的田间

播量为225 kg/hm²,设置P₂O₅(12%),K₂O(60%)一次性底施,施氮量底肥和追肥比6:4为试验条件,设计小区宽2.5 m,长5 m,面积12.5 m²,2次重复,小区随机安排,共60个小区。

表1 响应面CCD设计因素水平

变量范围	实际变量/(kg·hm ⁻²)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
上水平	275	220.8	150
零水平	172.5	138.5	94.1
下水平	70	56.2	38.2
距零水平r点	345	277	188
距零水平-r点	0	0	0
标准差	102.5	82.3	37.5

1.3.2 测定项目与方法

1)田间管理与大田生产相同,在青稞成熟期取样各小区1 m²装入网袋,室内测定穗粒数,脱粒后测定千粒质量、产量,求平均值。

2)氮肥偏生产力(kg·kg⁻¹)=籽粒产量(kg·hm⁻²)/施氮量(kg·hm⁻²)。

3)氮肥农学利用效率(NAE,kg·kg⁻¹)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/施氮量

1.3.3 数据分析

用软件Microsoft Excel 2016,Design-Expert 12进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥量对13-5171-7产量的影响

试验设计及结果见表2。利用Design-Expert 12表2中的响应值进行分析,剔除不显著交互项PK,建立产量(Y1)与N、P、K的二次回归方程:

表2 响应面试验设计与试验结果

小区号	因素			产量因子		
	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)	产量/(kg·hm ⁻²)	千粒质量/g	穗粒数/粒
1	70	56.2	38.2	3 891.75	43.34	46.64
2	275	56.2	38.2	4 571.25	42.61	53.43
3	70	220.8	38.2	4 588.5	45.96	54.64
4	275	220.8	38.2	3 905.4	38.63	47.68
5	70	56.2	150	4 071	45.88	55.18
6	275	56.2	150	3 942.3	42.53	58.18
7	70	220.8	150	4 941.9	48.78	49.25
8	275	220.8	150	2 399.1	42.09	45.57
9	0	138.5	94.1	3 772.95	48.88	44.32
10	345	138.5	94.1	3 416.7	41	49.96
11	172.5	0	94.1	5 739.6	42.47	48.03

续表

小区号	因素			产量因子		
	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)	产量/(kg·hm ⁻²)	千粒质量/g	穗粒数/粒
12	172.5	277	94.1	6 427.95	45.5	44.07
13	172.5	138.5	0	3 660.9	43.37	55.61
14	172.5	138.5	188	3 215.1	44.82	55.14
15	172.5	138.5	94.1	5 602.8	45.08	60.57
16	172.5	138.5	94.1	5 722.8	45.44	57.32
17	172.5	138.5	94.1	5 663.7	46.88	60.39
18	172.5	138.5	94.1	5 441.4	46.16	60.65
19	172.5	138.5	94.1	4 870.65	45.44	56.55
20	172.5	138.5	94.1	5 362.5	45.01	59.15

$$Y1=6.751\ 1+2.279\ 1N+0.212\ 5P+3.539\ 4K-0.003\ 7NP-0.003\ 9NK-0.004\ 5N^2+0.001\ 7P^2-0.016\ 4K^2\cdots\cdots\cdots\textcircled{1}$$

对曲面方程①进行显著性分析(表3)和可信度分析(表4),由表4可知,相关系数 $R^2=0.934\ 3$,变异系数(C·V)=7.75%,表明方程拟合较好。

表3 产量回归模型显著性分析

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	86 836.65	8	10 854.58	19.56	<0.000 1	*
A-N	3 487.80	1	3 487.80	6.29	0.029 1	*
B-P	86.94	1	86.94	0.16	0.699 8	
C-K	1 825.51	1	1 825.51	3.29	0.097 0	
AB	7 924.15	1	7 924.15	14.28	0.003 1	**
AC	3 954.27	1	3 954.27	7.13	0.021 8	*
A ²	32 304.19	1	32 304.19	58.22	<0.000 1	
B ²	1 840.72	1	1 840.72	3.32	0.095 8	
C ²	37 590.52	1	37 590.52	67.75	<0.000 1	
残差	6 103.28	11	554.84			
失拟项	3 940.64	6	656.77	1.52	0.331 7	
纯误差	2 162.64	5	432.53			
总离差	92 939.92	19				

注:*表示在5%显著性水平下差异有统计学意义,**表示在1%显著性水平下差异有统计学意义。

表4 产量回归方程可信度分析

项目	数值	项目	数值
标准差	23.56	决定系数	0.934 3
平均值	304.03	调整决定系数	0.886 6
变异系数/%	7.75	预测决定系数	0.729 8
		信噪比	12.785 9

由试验结果可知,回归模型F值19.56, $p<0.000\ 1$,说明模型极显著;失拟项 $p>0.05$,表明模型适合,可用于拟合试验;一次项N素影响极显著,交互项NP,NK显著。图1为回归方程的施氮量与施磷量,施氮(磷)量固定时,在一定范围内增施磷(氮)肥可提高产量;图2为施氮量与施钾量响应面

关系图,中等高线图较为明显,施氮(钾)量固定时,在一定范围内增施钾(氮)肥可提高产量。

2.2 不同施肥量对13-5171-7千粒质量的影响

利用Design-Expert 12对表2中的响应值进行分析,剔除不显著交互项NK,PK,建立千粒质量(Y2)与N,P,K的二次回归方程:

$$Y2=38.948\ 4+0.0101\ 4N+0.059\ 82P+0.0548\ 6K-0.000\ 147\ 3NP-0.000\ 035\ 16N^2-0.000\ 104\ 3P^2-0.000\ 213\ 8K^2\cdots\cdots\cdots\textcircled{2}$$

对曲面方程②进行显著性分析(表5)和可信度分析(表6)。由表6可知,相关系数 $R^2=0.931\ 4$,变异系数(C·V)=2.04%,表明方程以试验拟合较好。

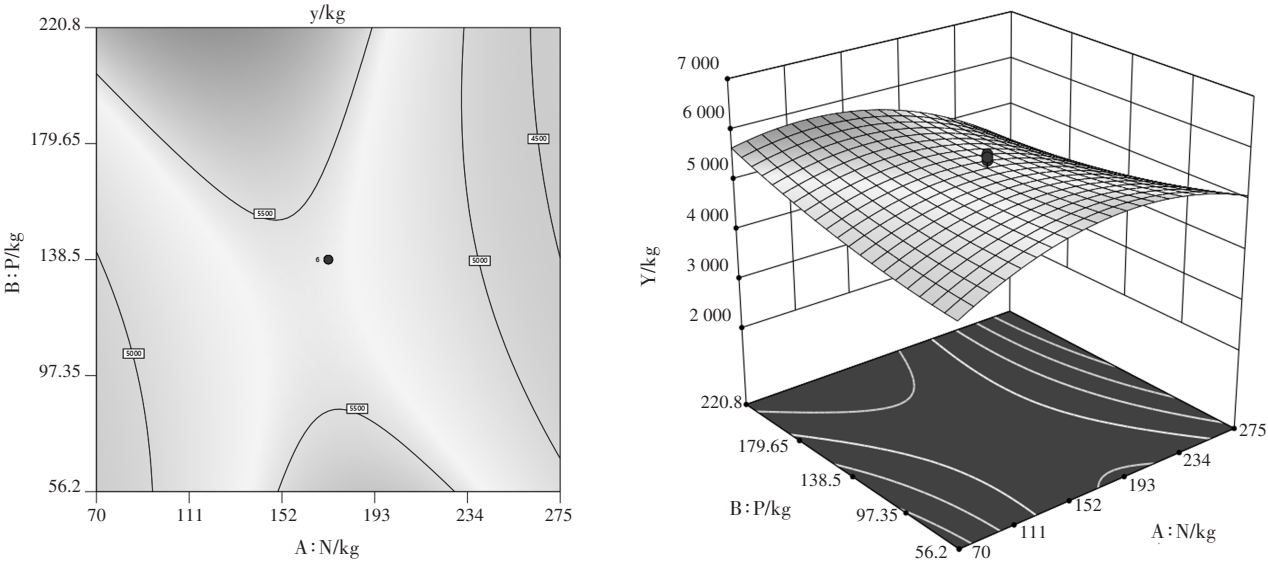


图1 施氮量与施磷量

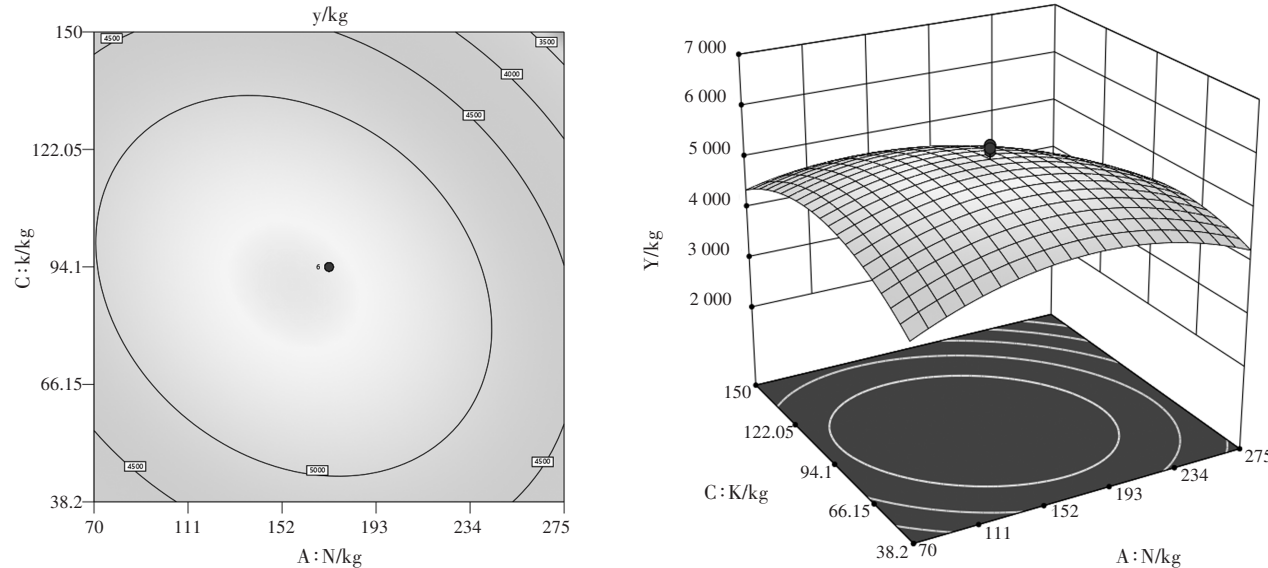


图2 施氮量和施钾量

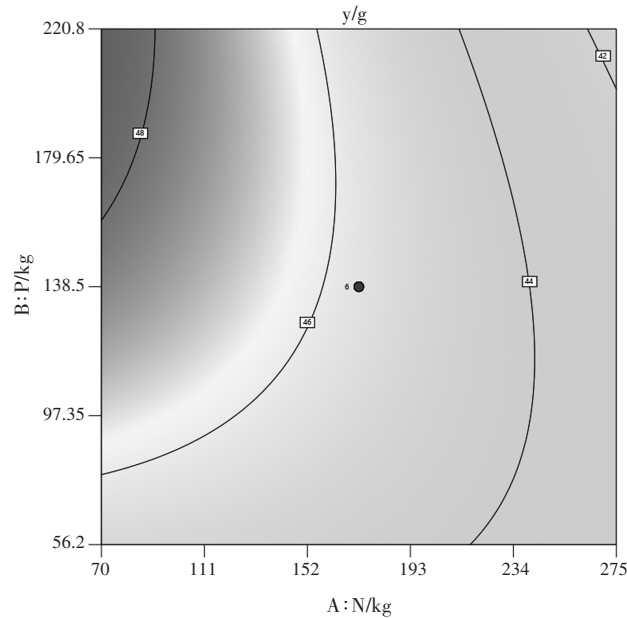
表5 千粒质量回归模型显著性分析

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	111.89	9	12.43	15.09	0.000 1	**
A-N	71.98	1	71.98	87.34	<0.000 1	**
B-P	2.81	1	2.81	3.41	0.094 5	
C-K	9.13	1	9.13	11.07	0.007 6	**
AB	12.35	1	12.35	14.99	0.003 1	**
AC	0.49	1	0.49	0.59	0.458 5	
BC	1.82	1	1.82	2.21	0.167 7	
A ²	1.97	1	1.97	2.39	0.153 1	
B ²	7.21	1	7.21	8.75	0.014 3	
C ²	6.43	1	6.43	7.80	0.019 0	
残差	8.24	10	0.82			
失拟项	5.65	5	1.13	2.18	0.206 6	
纯误差	2.59	5	0.52			
总离差	120.14	19				

注:*表示在5%显著性水平下差异有统计学意义,**表示在1%显著性水平下差异有统计学意义。

表6 千粒质量回归方程可信度分析

项目	数值	项目	数值
标准差	0.91	决定系数	0.931 4
平均值	44.49	调整决定系数	0.869 7
变异系数/%	2.04	预测决定系数	0.594 7
		信噪比	15.056 8



由表5可知,回归模型F值15.09, $p<0.01$,说明模型显著;失拟项 $p>0.05$,表明模型适合,可用于拟合试验;一次项N素、K素影响极显著,交互项NP极显著,NK、PK交互不显著。在各因素水平范围内,各因素对千粒质量影响排序为 $N>K>P$ 。

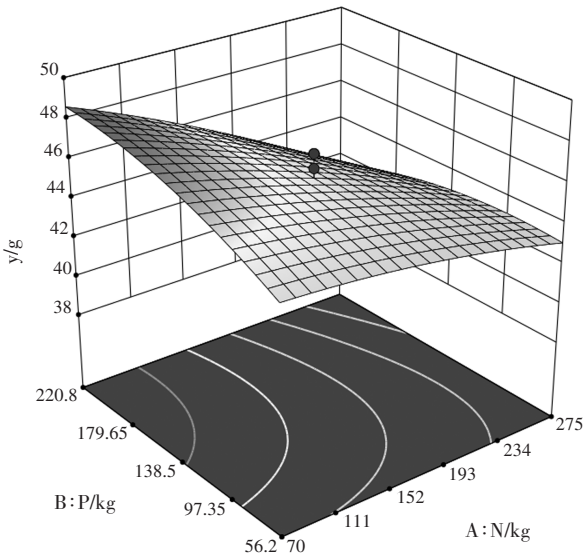


图3 施氮量与施磷量

图3为回归方程的施氮量与施磷量响应面关系图,等高线图较明显,表明NP交互作用较强,施氮(磷)量固定时,在一定范围内增施磷(氮)可提高千粒质量。

2.3 不同施肥量对13-5171-7穗粒数的影响

利用Design-Expert 12对表2中的响应值进行分析,剔除不显著交互项AC,建立穗粒数(Y3)与

N,P,K的二次回归方程:

$$Y3=21.070\ 9+0.170\ 4N+0.253\ 1P+0.134\ 0K-0.000\ 302\ 7NP-0.000\ 564\ 9PK-0.000\ 354\ 6N^2-0.000\ 606\ 9P^2-0.000\ 261\ 7K^2\cdots\cdots\cdots\textcircled{3}$$

对曲面方程③进行显著性分析(表7)和可信度分析(表8)。由表8可知,相关系数 $R^2=0.909\ 2$,变异系数($C\cdot V$)=4.44%,表明方程以试验拟合较好。

表7 穗粒数回归模型显著性分析

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	556.59	9	61.84	11.13	0.000 4	**
A-N	5.47	1	5.47	0.98	0.344 7	
B-P	38.56	1	38.56	6.94	0.025 0	**
C-K	1.82	1	1.82	0.33	0.579 5	
AB	52.17	1	52.17	9.39	0.012 0	**
AC	0.033	1	0.03	0.01	0.940 5	
BC	54.03	1	54.03	9.72	0.010 9	**
A ²	200.46	1	200.46	36.08	0.000 1	
B ²	244.01	1	244.01	43.91	<0.000 1	
C ²	9.63	1	9.63	1.73	0.217 3	
残差	55.56	10	5.56			
失拟项	39.66	5	7.93	2.49	0.169 2	
纯误差	15.90	5	3.18			
总离差	612.16	19				

表8 穗粒数回归方程可信度分析

项目	数值	项目	数值
标准差	2.36	决定系数	0.909 2
平均值	53.12	调整决定系数	0.827 5
变异系数/%	4.44	预测决定系数	0.456 0
		信噪比	8.730 9

由试验结果可知,回归模型F值11.13, $p<0.01$,说明模型显著;失拟项 $p>0.05$,表明模型适

合,可用于拟合试验;一次项P素对穗粒数影响极显著,交互项NP,PK极显著。在各因素水平范围内,各因素对穗粒数影响排序从大到小依次为P,N,K。

图4~5为回归方程的施氮量与施磷量、施磷量与施钾量响应面关系图,图4~5等高线图较明显,表明NP,PK交互作用较强,施氮(钾)量固定时,在一定范围内增施磷肥可提高穗粒数。

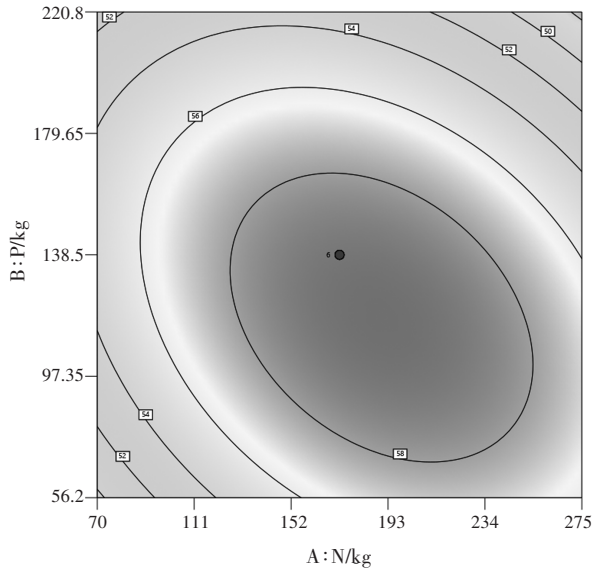


图4 施氮量与施磷量

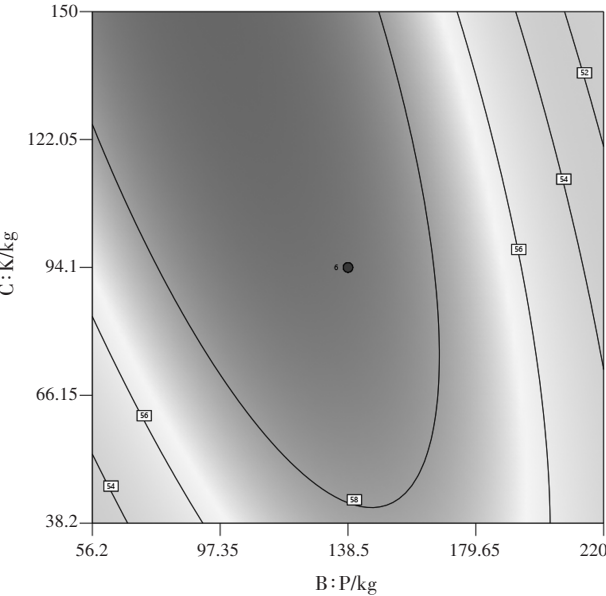
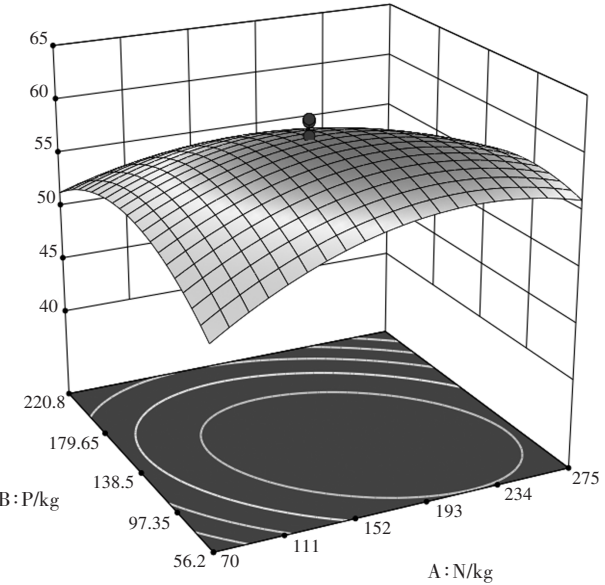
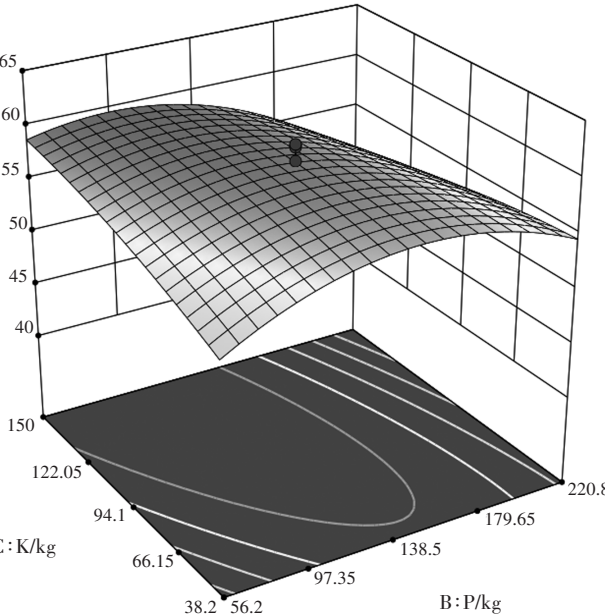


图5 施磷量与施钾量



2.4 不同处理间的氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率

由表9可知,施氮量70 kg/hm²下,施磷(钾)量固定时,增施钾(磷)可提升氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率,在施氮量为70 kg/hm²、施磷量为

220.8 kg/hm²、施钾量为150 kg/hm²时,氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率分别达到70.60 kg/kg,1.11 kg/kg。随施氮量增加 ≥ 70 kg/hm²,氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率呈下降趋势。

表9 不同处理间的氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率

小区号	因素			氮肥偏 生产力/(kg·kg ⁻¹)	氮肥农学利用效率/ (kg·kg ⁻¹)
	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)		
1	70	56.2	38.2	55.60	0.11
2	275	56.2	38.2	16.62	0.19
3	70	220.8	38.2	65.55	0.78
4	275	220.8	38.2	14.20	0.03
5	70	56.2	150	58.16	0.28
6	275	56.2	150	14.34	0.04
7	70	220.8	150	70.60	1.11
8	275	220.8	150	8.72	-0.33
9	0	138.5	94.1		
10	345	138.5	94.1	9.90	-0.07
11	172.5	0	94.1	33.27	0.76
12	172.5	277	94.1	37.26	1.03
13	172.5	138.5	0	21.22	-0.04
14	172.5	138.5	188	18.64	-0.22
15	172.5	138.5	94.1	32.48	0.71
16	172.5	138.5	94.1	33.18	0.75
17	172.5	138.5	94.1	32.83	0.73
18	172.5	138.5	94.1	31.54	0.64
19	172.5	138.5	94.1	28.24	0.42
20	172.5	138.5	94.1	31.09	0.61

2.5 最佳施肥量预测

依据回归方程①得最佳施肥方案为,当N,P₂O₅,K₂O施用量分别为121.26,220.80,93.82 kg/hm²时,产量达到每公顷5 838.30 kg。

3 讨论

本研究表明施氮(钾)量固定时,在一定范围内增施钾(氮)肥可提高产量,马悦等^[7]研究结果表明在土壤速效钾含量小于90,90~120,120~150 mg/kg和大于180 mg/kg时采用监控施肥技术增加了钾肥用量,在速效钾含量150~180 mg/kg时减少了钾肥用量,各土壤速效钾水平下采用监控施肥技术施用钾肥均提高了小麦产量,彭君等^[8]研究结果一致。

本研究结果中青稞品系施氮量较高,关于施用氮肥对小麦籽粒产量的影响,大多研究认为施氮量与籽粒产量呈抛物线关系,在一定的施氮范围内,施氮量与产量呈正相关,但超过一定范围,产量增加不显著甚至降低^[9]。付丹丹等^[10]建议的N,P,K施肥方案较小,韦泽秀等^[3]建议N施肥7 kg/667 m²;

郭建伟等^[11]建议的氮磷比较小,为1:0.9;增加施氮量有利于小麦穗数、穗粒数和千粒质量的增加^[12-13],本研究中施氮量与青稞穗粒数、千粒质量呈正相关。

氮肥是青稞生长过程中不可缺少的元素,但在氮肥的使用过程中,存在氮肥用量大,利用效率低,甚至造成环境污染^[14-15],适量减少氮肥用量,提高氮肥利用效率,在青稞种植过程中比较重要。本研究在施氮量为70 kg/hm²、施磷量为220.8 kg/hm²、施钾量为150 kg/hm²时,氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率分别达到70.60 kg/kg,1.11 kg/kg。随施氮量增加≥70 kg/hm²,氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率呈下降趋势,与前人研究结果一致^[16-17]。

本研究很可能受试验地气温、土壤成分、降水量及光照等多种因素影响,且本试验实施仅一年,导致试验结果与前人研究有差异,建立的施肥模型今后还需试验实践中进一步验证与完善。

4 结论

本文建立了氮磷钾配施对产量、千粒质量、穗粒数的二次回归方程,生成了响应曲面模型,结果表明:①此次试验建立的二次回归模型较好,精度较高(产量模型 $p<0.000\ 1$,千粒质量模型 $p=0.000\ 1$,穗粒数模型 $p=0.000\ 4$);②施氮量与产量呈显著($p=0.029\ 1<0.05$),与千粒质量呈极显著($p=0.000\ 1$),与穗粒数呈显著($p<0.05$)。③产量的NP,NK交互作用呈显著,千粒质量的NP,PK交互作用极显著,穗粒数的NP交互作用显著。以获取最高产量为目标,其最佳氮磷钾配施方案为施氮量 121.26 kg/hm^2 ,施磷量 220.80 kg/hm^2 ,施钾量 93.82 kg/hm^2 。该方案下,各性状拟合值为产量 $5\ 838\text{ kg/hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] KUMARATHILAKA P,SENEWEERA S,MEHARG A,et al. Arsenic Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) is Influenced by Environment and Genetic Factors [J]. Science of the Total Environment, 2018, 642: 485-496.
- [2] 韦泽秀,卓玛. N素水平对13-5171-7青稞生长及氮肥利用率的影响[J]. 西藏农业科技, 2021, 43(4): 5-9.
- [3] 杨天赐,刘国一,康朝麒,等. 播期、播种密度及肥料运筹对青稞产量及产量性状的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2021, 38(1): 12-16.
- [4] 卓玛,曲航,马瑞萍,等. N、P、K、Si营养对青稞产量及籽粒营养品质的影响[J]. 西藏农业科技, 2018, 40(S1): 65-71.
- [5] YE T H, LI Y W, ZHANG J L, et al. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization Affects the Flowering Time of Rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Global Ecology and Conservation, 2019, 20: e00753.
- [6] 栗瑞红,刘培京,吴湾,等. 响应面法优化内蒙古黄芪施肥量[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 178-185.
- [7] 马悦,田怡,牟文燕,等. 北方麦区小麦产量与籽粒氮磷钾含量对监控施钾和土壤速效钾的响应[J]. 中国农业科学, 2022, 55(16): 3155-3169.
- [8] 彭君,韦泽秀,卓玛. 氮、磷、硅营养及交互作用对青稞“13-5171-7”生长及产量的影响[J]. 西藏农业科技, 2022, 44(1): 6-11.
- [9] 曹倩,贺明荣,代兴龙,等. 密度、氮肥互作对小麦产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 815-822.
- [10] 付丹丹,谢永春,普布贵吉. 西藏黑青稞氮磷钾配施效果研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(7): 101-105.
- [11] 郭建伟,徐冬丽,王国平,等. 青稞新品种甘青8号肥料与密度栽培试验[J]. 西藏农业科技, 2020, 42(3): 22-25.
- [12] 徐启来,王飞,周娜娜,等. 不同氮肥运筹对晚播小麦产量和农艺性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(31): 20-22.
- [13] 江东国,黄正来,张文静,等. 晚播条件下施氮量对稻茬小麦氮素吸收及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1211-1221.
- [14] 白清俊,张庆华,刘琳,等. 基于农业结构及经济水平的山东省节水农业发展探讨[J]. 节水灌溉, 2009(8): 37-39.
- [15] 吴彩丽,许迪,白美健,等. 地面灌溉田间灌水控制技术与设备研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(6): 133-136.
- [16] 魏汇庆,邵亚茹,宫俪芹,等. 管渠灌溉和施氮量对冬小麦产量和氮素利用效率影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2022, 53(5): 705-710.
- [17] 傅晓艺,何明琦,赵彦坤,等. 长期定位施氮条件下种植密度对冬小麦石4366品质和氮肥利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(2): 215-224.