排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2022 年 4 月 Apr. 2022 | 第 40 卷 第 4 期 Vol.40 No.4

拉萨河谷农区苦荞“3414”肥料效应试验研究


边巴卓玛

边巴卓玛[1,2*]
(1. 西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所,西藏 拉萨 850032; 2. 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 拉萨 850032)

摘要: 为了探明不同施肥组合对高寒旱作区域苦荞产量的影响,实现最佳苦荞产量目标下的最优施肥方式和施肥组合,一方面提高苦荞的产量,另一方面降低肥料的施用量,进而减少农田的面源污染.结合拉萨河谷区域的苦荞种植和肥力特征,采用“3414”肥料效应试验,建立肥料效应方程,探索苦荞的最佳施肥模式和最优肥料配比.研究结果表明:不同施肥方式下对苦荞产量表现的差异极具有统计学意义,其中,施肥方式为$N_2P_2K_3$(氮、磷、钾含量分别为 34.5,36.0,30.0 kg/hm^2)下苦荞的产量最高;肥料互作效应分析显示氮、磷互作效应最高,土壤养分限制产量分析显示其提高顺序从大到小为 N,P,K;采用一元二次肥料效应模型进行分析,推荐苦荞最佳施肥量尿素施用量 44.50 kg/hm^2、过磷酸钙施用量 256.17 kg/hm^2、硫酸钾施用量 40.82 kg/hm^2.

关键词: 苦荞;“3414”试验;肥料效应;拉萨河谷
中图分类号: S158.5 **文献标志码**: A **文章编号**: 1674-8530(2022)04-0398-06
Doi:10.3969/j.issn.1674-8530.19.0316

边巴卓玛. 拉萨河谷农区苦荞“3414”肥料效应试验研究[J].排灌机械工程学报,2022,40(4): 398-403.
Bianbadrolma. Experimental study on fertilizer effect of Tartary Buckwheat "3414" in agricultural area of Lhasa River Valley[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME),2022,40(4): 398-403. (in Chinese)

Experimental study on fertilizer effect of Tartary Buckwheat "3414" in agricultural area of Lhasa River Valley

Bianbadrolma[1,2*]
(1. Research Institute of Agricultural Resource and Environment, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa, Tibet 850032, China; 2. State Key Laboratory of Hulless Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Lhasa, Tibet 850032, China)

Abstract: In order to explore the impact of different fertilization combinations on the yield of Tartary Buckwheat in alpine and dry farming areas and realize the optimal fertilization method and fertilization combination under the goal of optimal yield of Tartary Buckwheat, on the one hand, the yield of Tartary Buckwheat is improved, on the other hand, the application of fertilizer is reduced, so as to reduce the non-point source pollution of farmland. In this study, combined with the planting and fertility characteristics of Tartary Buckwheat in the Lhasa River Valley, the "3414" fertilizer effect experiment was made to establish the fertilizer effect equation and explore the best fertilization mode and the optimal fertilizer ratio of Tartary Buckwheat. The results showed that there were significant differences in the yield performance of Tartary Buckwheat by different fertilization modes. Among them, the yield per-

收稿日期: 2019-11-28; **修回日期**: 2022-03-12; **网络出版时间**: 2022-04-07
网络出版地址: https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20220406.1157.012.html
基金项目: 国家现代农业燕荞麦产业技术体系支持项目(CARS-08-E-4)
第一作者简介: 边巴卓玛(1981—),女,西藏昌都人,副研究员(通信作者,bianbazhuoma1981@163.com),主要从事耕作栽培及旱作农业研究.

formance of Tartary Buckwheat was the highest under $N_2P_2K_3$ (nitrogen content 34.5 kg/hm^2, phosphorus content 36.0 kg/hm^2, potassium content 30.0 kg/hm^2). The analysis of fertilizer interaction effect showed that the interaction effect of N and P was the highest, and the order of soil nutrient limiting yield was N>P>K. Through the analysis of the unitary quadratic fertilizer effect model, the optimal fertilization rates of Tartary Buckwheat were recommended, including urea application rate of 44.50 kg/hm^2, calcium superphosphate application rate of 256.17 kg/hm^2 and potassium sulfate application rate of 40.82 kg/hm^2.

Key words: Tartary Buckwheat; "3414"; fertilizer effect; Lhasa River Valley

荞麦属蓼科(Polygonaceae),有 2 个栽培种,为甜荞和苦荞[1-2].荞麦素有“五谷之王”之美誉,其籽粒营养价值很高,富含蛋白质、脂肪、淀粉、矿物质、维生素及微量元素[3].作为药食作物其富含人体需要的氨基酸及丰富的生物类黄酮[4],具有降血糖、降血脂,可有效控制糖尿病,提高身体免疫力.同时,还有助于小孩的智力健康发育[5-6].西藏高寒地区主要以种植苦荞为主,荞麦根系发达,对生态条件(热量、土壤、光照等)选择要求不高,具有较强的环境适应能力(表现为具有抗旱、抗寒、耐瘠、耐碱和抗病能力),可在低海拔至高海拔农区进行种植.长期以来,当地荞麦种植业受到传统观念和生产力水平的限制,品种老化严重,加之荞麦生产多为粗放管理,产量一直处于较低的水平上,产业发展较缓慢.

肥料为作物生长发育提供了最基本的营养元素,氮、磷、钾是影响作物产量肥料三要素.研究表明,氮是作物生长发育过程中需求量最大的元素,对产量影响最大,其次是磷、钾肥.科学合理地施肥将有效地提高作物产量.但长期以来不合理的施肥、偏施化肥、少施或不施有机肥料等现象,造成土壤中的养分比例失调,土壤贫瘠化现象严重.目前,针对作物需肥规律、土壤供肥性能与肥料效应等,国内外专家学者做了大量的研究[7].曹群虎等[8]通过长武县田间肥料试验,研究不同氮磷钾施肥量对小麦产量的影响,分析肥料的利用率,结果表明,产量水平高,肥料利用率越高,氮肥利用率最高2.2%~31.2%,其次钾肥利用率 7.4%~32.1%,磷肥利用率最低 6.0%.

樊燕等[9]通过“3414”肥料效应试验,建立肥料效应方程,探索荞麦的最佳施肥模式,为重庆地区荞麦生产的高产高效提供科学依据.结果表明:推荐试验区荞麦 667 m^{2}的最佳施肥量为过磷酸钙 25.0~50.0 kg、硫酸钾 10.5~20.0 kg、尿素 15.0 kg.

作为一种先进的精准施肥技术,测土配方施肥能够依据作物需肥规律、土壤供肥性能与肥料效应,基于合理的施用有机肥料,优化氮、磷、钾及中、微量元素等肥料的施用数量、施肥时期和施用方法[10-11].文中采用“3414”试验方案,并结合高寒旱作农区土壤肥力,研究分析不同氮、磷、钾肥施用量对苦荞产量和经济效益的影响,建立肥效模型,确定其推荐施肥量,为基于苦荞高产目标的施肥管理提供理论依据和技术支持.

1　材料和方法

1.1　研究区概况

试验在西藏自治区资环所四号试验地(91°2′31″E,91°2′31″N)进行,其海拔 3 650 m,年平均日照时数 3 000 h,年平均气温 7.5 ℃,无霜期 100~120 d,年平均降水量 200~510 mm,属于典型的高原温带半干旱季风气候.按“S”法采集供试种植层土壤 10 个点的样品,其基本理化性状见表 1,表中 w 为质量比.

表 1　土壤种植层基本理化性状

Tab.1　Basic physical and chemical properties of soil plough layer

土壤质地	w/(g·kg^{-1})							pH 值
	有机质	全氮	全磷	全钾	速效磷	速效钾	速效氮	
砂壤	13.110	1.180	0.650	17.410	0.009	0.055	0.087	8.35

1.2　供试肥料和品种

供试品种:西荞 5 号;供试肥料:过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)、尿素(含 N 46.4%)、硫酸钾(含 K_2O 50%);处理药剂:克敌虫 60 kg/hm^2(与基肥混合后撒施).

1.3　试验方法与设计

试验采用“3414”最优回归设计,如表 2 所示,ω 为折合纯养分用量.该试验方案采用氮、磷、钾 3 个因素、4 个水平、14 个处理.4 个水平是指:0 水平为不施肥,2 水平为当地常规施肥量,1 水平为 2 水平×0.5,3 水平为 2 水平×1.5.

试验小区行长 6.0 m，宽 3.5 m，面积约为 21.00 m^2，行距 0.3 m，行数 11 行；荞麦播种量为 33 kg/hm^2.试验肥料磷肥、钾肥采用 1 次基施；氮肥 25%作底肥，25%作提苗肥，50%作花肥.

表 2 试验因素水平
Tab.2 Test factor level

水平	ω/(kg·hm^{-2})		
	N	P_2O_5	K_2O
0	0	0	0
1	17.25	18	15
2	34.50	36	30
3	51.75	54	45

1.4 样品采集及试验观测

1）土样采集：对每个试验小区进行样品采集.采集对象为试验地试验前耕作层土样，设置不少于 10 个采样点，且呈 S 形分布，将各采样点采集的土样均匀混合后装袋，取样重量约为 2 kg，土样自然风干，标记留存.

2）植株及籽粒样品：每个试验、每个小区都要采集.植株样品的采集与收获、测产同步，设置 5 个采样点，每个采样点沿接近植株基部采集样株，风干样品，单独脱粒，作为考种样品.说明：每个小区设置 5 个采集点，每个采集点取 5 个植株，即每个小区合计采集 25 株植株，在荞麦收货前期每株连根拔起取样.

3）收获期取样：每个小区选取 3 m^2 记载作物的实际产量.

4）试验数据采用 Excel 2007 软件进行处理及作图，采用 SPSS 21.0 进行方差分析，采用 LSD 法进行差异显著性检验.

1.5 田间管理

试验小区的田间管理均采用与大田水平相当的各项管理措施.5 月 15 日进行播种前灌水、土地深翻；5 月 19 日播种，采用人工开沟条播方式，播种后覆土压平.中耕 3 次：6 月上旬中耕除草和灌水 1 次，并早查苗、间苗、保证无缺苗断行；6 月下旬—7 月上旬除草 1 次，7 月中下旬除草和灌水 1 次.

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对苦荞农艺性状的影响

图 1 为不同处理主要农艺性状分析结果，图中 *h* 为株高，*n* 为分节数，*i* 为分支数，*d* 为茎粗，*j* 为单株粒数，*m* 为单株粒质量，*g* 为千粒质量.由图可见，不同施肥情况下相同苦荞植株表型性状也不同.包括植株的株高 T5($N_2P_1K_2$)处理表现最高，为174.60 cm，其他品系范围为 13.20～171.00 cm；主茎分枝数 T14($N_2P_1K_1$)处理表现最高，为 3.27 个，其他品系分枝数为 0.20～2.53 个；主茎节数 T14($N_2P_1K_1$)处理最高，为 22.33 个，其他品系为19.47～21.93 个；茎粗 T14($N_2P_1K_1$)处理最高，为8.06 g，其他品系为 6.07～8.00.不同处理下相同荞麦作物植株经济性状也各不同.单株粒数 T5($N_2P_1K_2$)处理最高，为 608.93粒，其他品系为 316.20～567.93；单株粒质量 T5($N_2P_1K_2$)处理最高，为 14.05 g，其他品系为 7.12～11.23 g；千粒质量 T13($N_1P_2K_1$)处理最高，为 23.80 g，其他品系为 18.21～23.72 g.

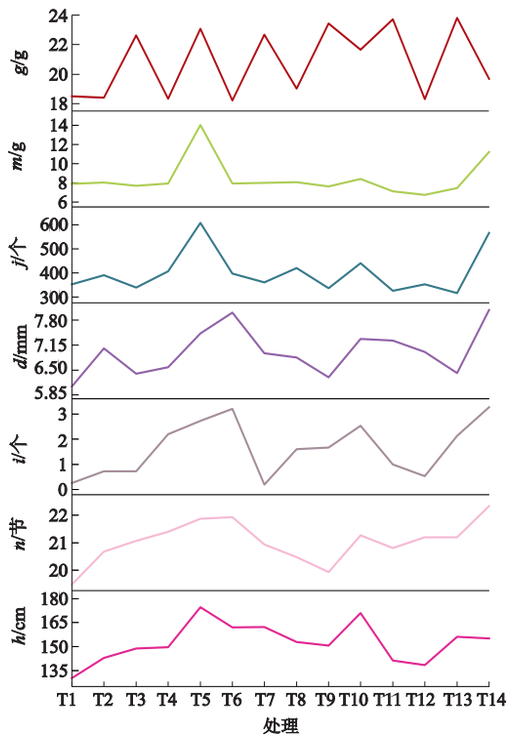


图 1 不同处理主要农艺性状分析结果
Fig.1 Analysis results of main agronomic characters of different treatments

2.2 不同施肥处理对苦荞籽粒产量的影响

通过产量方差分析结果($F = 3.2$，$P = 0.005 < 0.010$)表明，不同施肥处理对苦荞籽粒产量影响差异极具有统计学意义.对荞麦具有显著的增产效果的为氮磷钾配施，尤其是氮肥的施用，增产效果非常显著，而不施用氮肥，仅施用磷钾肥对增产没有显著的影响.表 3 为不同处理产量分析结果，表中 *Y* 为产量.从表中看出，处理 T10($N_2P_2K_3$)产量表现最高，为 5 244.29 kg/hm^2；其次是处理 T11($N_3P_2K_2$)

产量，为 4 869.10 kg/hm^2；对照处理（$N_0P_0K_0$）产量最低，为 2 384.53 kg/hm^2.

表 3　不同处理产量分析结果

Tab.3　Yield analysis results of different treatments

处理	Y/(kg·hm^{-2})	显著性	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
T1	2 384.53	c	C
T2	2 501.25	c	BC
T3	2 642.99	c	BC
T4	3 510.09	abc	ABC
T5	4 510.59	ab	ABC
T6	4 135.40	abc	ABC
T7	4 127.06	abc	ABC
T8	4 760.71	a	ABC
T9	4 143.74	abc	ABC
T10	5 244.29	a	A
T11	4 869.10	a	AB
T12	2 626.31	c	BC
T13	2 884.78	bc	ABC
T14	3 868.60	abc	ABC

2.3　地力产量及土壤肥力

肥料互作效应分析结果如表 4 所示，表中 e 为比对照增产率，η_Y 为相对产量.

表 4　土壤肥力依存率和缺素相对产量

Tab. 4　Dependence rate of soil fertility and relative yield of element deficiency

互作效应	ω/(kg·hm^{-2})			Y/(kg·hm^{-2})	e/%	η_Y/%
	N	P_2O_5	K_2O			
无肥区	0	0	0	2 384.53		57.66
无氮区（PK）	0	36	30	2 501.25	4.9	60.40
无磷区（NK）	34.5	0	30	3 510.09	47.2	84.80
无钾区（NP）	34.5	36	0	4 760.71	99.6	115.00
全素区（NPK）	34.5	36	30	4 135.40	73.4	

与对照（CK）相比，NP 互作效应最高，平均增产 99.6%，NPK 互作效应增产效率 73.4%；NK 互作效应增产为 47.2%；PK 的互作效应最弱为 4.9%，土壤养分限制产量提高顺序从大到小依次为 N，P，K.试验方案 1，2，4，6，8 处理中 $N_0P_0K_0$ 为无肥区，处理 $N_2P_2K_2$ 为全素区，处理 $N_0P_2K_2$ 为缺氮区，处理 $N_2P_0K_2$ 为缺磷区，处理 $N_2P_2K_0$ 为缺钾区.无肥区产量 2 384.53 kg/hm^2，缺氮区 2 501.25 kg/hm^2，缺磷区 3 510.09 kg/hm^2，缺钾区 4 760.71 kg/hm^2.无肥区相对产量57.66%，缺氮区 60.40%，缺磷区 84.80%，缺钾区 115.00%.按相对产量，将土壤肥力划分为 5 级：相对产量小于 50.00%视为土壤养分为极缺，施相应的肥料有极显著的增产效果；相对产量 50.00%～75.00%表示土壤养分为缺，施相应的肥料有一定的增产效果；相对产量 75.00%～85.00%的土壤养分为中等；相对产量85.00%～95.00%的土壤养分为丰；相对产量大于 95.00%土壤养分为极丰.地力养分丰缺情况说明供试土壤中缺氮，即全氮的含量较低，速效磷含量中等，速效钾含量达到极丰水平.

2.4　荞麦产量肥效分析

2.4.1　三因素对产量肥料效应模型

根据氮、磷、钾不同施用量对产量的影响，通过回归分析得出三元二次肥料效应函数方程为

$$Y=2\ 276.238+76.226X_N+31.046X_P-118.883X_K-0.893\ 1X_NX_P+0.027X_NX_K+0.699X_PX_K+0.184X_N^2-0.270X_P^2-2.290X_K^2,$$

式中：X_N，X_P，X_K 分别为氮肥、磷肥和钾肥折纯用量.回归平方和 $U=11\ 760\ 761.49$，剩余平方和 $Q=777\ 302.893$，相关系数 $R^2=0.938$，检验值 $F=6.725$，$P=0.041<0.050$，说明 N，P，K 不同用量的施肥配比对产量的影响具有统计学意义.根据肥料报酬递减律和二次数学函数曲线的特点要求，判定该三元二次肥效方程为非典型肥效方程.

2.4.2　单因素对产量肥料效应模型

表 5 为单因素分析结果，表中 ω_{max} 为最大施肥量，Y_{max} 为最大产量，ω_b 为最佳施肥量，Y_b 为最佳产量.可以分别利用一元二次肥料效应模型拟合.

1）不同施氮水平对荞麦产量的影响

在磷、钾肥料水平不变的情况下，研究不同氮肥用量对作物产量影响效应.数据组 2，3，6，11 处理 N 肥施用量 X_N 同荞麦籽粒产量回归模型为 $Y=2\ 394.947+22.838X_N+0.525X_N^2$，$R^2=0.944$.分析该模型可以看出，在 P，K 肥供应充足的情况下，随着氮肥施用量增加，荞麦产量呈现出增高趋势.通过氮元素肥料效益方程得出，该试点最大施肥量 21.75 kg/hm^2，最大产量为 2 146.57 kg/hm^2；最佳施肥量20.65 kg/hm^2，最佳产量 2 147.21 kg/hm^2；通过折算最佳尿素施肥量为 44.50 kg/hm^2.

2）不同施磷水平对荞麦产量的影响

在氮、钾肥料水平不变的情况下，研究不同磷肥用量对作物产量影响效应.数据组 4，5，6，7 处理磷肥施用量同荞麦籽粒产量回归模型为 $Y=3\ 589.217+50.233X_P-0.778X_P^2$，$R^2=0.705$.分析该模型可以看出，在 N，K 肥供应充足的情况下，随着磷肥施用量增加，荞麦产量呈现略增高后降低的趋势.通过磷元素肥料效益方程得出，该试验点最大施肥量 32.28 kg/hm^2，最大产量为 4 408.07 kg/hm^2；最佳施肥量 30.74 kg/hm^2，最佳产量 4 406.21 kg/hm^2；通过折算最佳过磷酸钙施肥量为 256.17 kg/hm^2.

3）不同施钾水平对荞麦产量的影响

在氮、磷肥料水平不变的情况下，研究不同钾肥用量对作物产量影响效应.数据组8,9,6,10处理K肥施用量同荞麦籽粒产量回归模型为 $Y=4\ 786.140-76.677X_K+1.918X_K^2$，$R^2=0.985$.该模型可以看出，在N,P肥供应充足的情况下，随着钾肥施用量增加，荞麦产量呈现增高后略降低的平稳趋势.通过钾元素肥料效益方程得出，该试点的最大施肥量19.99 kg/hm^2，最大产量为4 020.27 kg/hm^2；最佳施肥量20.41 kg/hm^2，最佳产量4 020.14 kg/hm^2；通过折算最佳硫酸钾施肥量为40.82 kg/hm^2.

表5 单因素分析结果

Tab.5 Single factor analysis results

肥料因子	肥料效应方程	R^2	ω_{max}/(kg·hm^{-2})	Y_{max}/(kg·hm^{-2})	ω_b/(kg·hm^{-2})	Y_b/(kg·hm^{-2})
N	$Y=2\ 394.947+22.838X_N+0.525X_N^2$	0.944	21.75	2 146.57	20.65	2 147.21
P	$Y=3\ 589.294+50.025X_P-0.772X_P^2$	0.705	32.28	4 408.07	30.74	4 406.21
K	$Y=4\ 777.388-77.539X_K+29.183X_K^2$	0.985	19.99	4 020.27	20.41	4 020.14

注：荞麦按当季市场价5.2元/kg；肥料按购肥时价格纯N 6.03元/kg，纯P_2O_5 12.5元/kg，纯K_2O 8.4元/kg

3 讨 论

3.1 氮磷钾互作效应分析结果

肥料的使用是影响苦荞产量的关键因素之一，施肥量因不同地力水平而不同，得到的试验结果也不同.徐松鹤等[12]研究发现，单因素施肥对乌兰察布地区荞麦产量的影响效应从大到小依次为磷肥、有机肥、钾肥、氮肥.由此说明，施肥量N,P,K各因素交互影响作用因不同地域特点及地力水平，得到的试验结果也各不相同.本试验供试田块的整体地力属于低水平，土壤中有效养分含量丰缺程度表现为低氮、中磷、高钾水平.肥料的互作效应结果从大到小依次为NP,NPK,NK,PK.可以看出，土壤养分含量水平总体偏低的情况下，氮磷钾肥的协同施肥，以便满足作物不同的生长阶段的养分需求，在一定范围内可提高荞麦产量.通过施氮肥促使植物茎叶的生长；施用磷肥增加植物根系生长及碳水化合物的合成和运载，同时促进氮素的代谢；荞麦是需钾较多的作物之一[2]，通过施用钾肥，可以促进茎秆增粗，增加抗倒伏能力.

3.2 不同氮、磷、钾肥料组合的产量效应

试验研究不同配比氮、磷、钾不同施肥量对荞麦产量影响较明显，通过方差分析结果表明（$F=3.2$，$P=0.005<0.010$），不同处理产量水平差异具有统计学意义.试验区不同氮、磷、钾组合用量的荞麦产量效应表现为T10（$N_2P_2K_3$）的增产效应最显著，说明中氮、中磷、高钾水平下获得产量较高.T2（$N_0P_2K_2$）增产效应不显著，说明氮磷钾肥配合施用增产效果较好，不施用氮肥的增产效果不明显.在试验区种植荞麦，施用氮磷钾肥的增产效果显著，其增产效应从大到小依次为N,P,K.这与刘迎春等[13]研究适量施用磷肥，增施钾肥，不推荐施用氮肥的结果不一致，原因可能是不同地域存在着一定的肥力差异，其施肥量N,P,K的影响作用也不同.

4 结 论

采用“3414”试验方法对拉萨河谷区域高寒旱作苦荞的最佳施肥量进行了研究，对试验数据进行三元二次和一元二次肥料效应模型拟合，得到结论如下：

1）通过对数据产量方差分析，得到不同施肥处理对苦荞籽粒产量影响差异极具有统计学意义.

2）氮磷钾配施对荞麦具有显著的增产效果，处理T10（中氮、中磷、高钾）产量表现最高，为5 244.29 kg/hm^2；肥料互作效应分析显示NP互作效应最高，土壤养分限制产量分析显示其提高顺序从大到小依次为N,P,K.

3）采用一元二次肥料效应模型分析，推荐苦荞最佳施肥量尿素施用量44.50 kg/hm^2、过磷酸钙施用量256.17 kg/hm^2、硫酸钾施用量40.82 kg/hm^2.

参考文献(References)

[1] 陈庆富.荞麦属植物科学[M].北京：科学出版社，2012.

[2] 林汝法.中国荞麦[M].北京：中国农业出版社，1994.

[3] ZHOU X, HAO T, ZHOU Y, et al. Relationships between antioxidant compounds and antioxidant activities of tartary buckwheat during germination[J]. Journal of food science and technology, 2015, 52(4): 1-6.

[4] KREFT I, FABJAN N, YASUMOTO K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products[J]. Food chemistry, 2006, 98(3): 508-512.

[5] WANG Qingrui, TAKAO Ogura, WANG Li. Research and development of new poducts from bitter-buckwheat[J]. Current advances in buckwheat research, 1995, 27: 873-879.

[6] ZHAO Gang, TANG Yu, HU Zhu, et al. Selection and application of tartary buckwheat new variety Xiqiao One [J]. Advances in buckwheat research, 2001, 8: 382-387.

[7] 刘永霞,井涛,唐粉玲,等.基于“3414”试验的巴西蕉施肥效应与最佳施肥量[J].江苏农业科学,2014,42(11):177-180.
LIU Yongxia, JING Tao, TANG Fenling, et al. Study on fertilization effect and recommendation amount for Brazilian banana based on "3414" field trials[J]. Jiangsu agricultural sciences, 2014, 42(11): 177-180. (in Chinese)

[8] 曹群虎,慕芳,段长林,等.长武县小麦“3414”试验肥料效应研究[J].陕西农业科学,2014,60(6): 17-20.
CAO Qunhu, MU Fang, DUAN Changlin, et al. Study on the effect of "3414" fertilizer on wheat in Changwu County[J]. Shaanxi journal of agricultural sciences, 2014, 60(6): 17-20. (in Chinese)

[9] 樊燕,刘永文.荞麦“3414”肥料效应试验研究[J].南方农业,2015,9(22):37-40,65.
FAN Yan, LIU Yongwen. Study on the effect of "3414" fertilizer on tartary buckwheat[J]. South China agriculture, 2015, 9(22): 37-40, 65. (in Chinese)

[10] 高祥照,马常宝,杜森.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2005.

[11] 汪燕,廖凯,喻武鹃,等.苦荞耐低磷力鉴定及其产量和品质分析[J].江苏农业学报,2018,34(3):503-510.
WANG Yan, LIAO Kai, YU Wujuan, et al. Identification of low-phosphorus tolerance and analysis of yield and quality in tartary buckwheat[J]. Jiangsu journal of agricultural sciences, 2018, 34(3): 503-510. (in Chinese)

[12] 徐松鹤,任琴,曹兴明.不同肥料配施方案对荞麦产量的影响[J].河南农业大学学报,2015,49(5):616-621.
XU Songhe, REN Qin, CAO Xingming. Effect of different fertilizer combined application on the yield of buckwheat[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2015, 49(5): 616-621. (in Chinese)

[13] 刘迎春,乌朝鲁门,李永娟,等.荞麦氮、磷、钾肥的效应研究[J].作物杂志,2014(6):95-98.
LIU Yinchun, WU Chaolumen, LI Yongjuan, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potash fertilizers on buckwheat[J]. Crops, 2014(6): 95-98. (in Chinese)

（责任编辑　徐云峰）

（上接第 377 页）

[5] 周璐婕,董昱.基于 GA-BP 神经网络的列控车载设备故障诊断方法研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(12):3257-3265.
ZHOU Lujie, DONG Yu. Research on fault diagnosis method of train controlled vehicle equipment based on GA-BP neural network[J]. Journal of railway science and engineering, 2018, 15(12): 3257-3265. (in Chinese)

[6] 李泽宇,郭创新,朱承治.采用 GA-BPNN 与 TLS 模型的风电机组异常辨识方法[J].电力系统自动化,2020,44(9):95-104.
LI Zeyu, GUO Chuangxin, ZHU Chengzhi. Anomaly identification method of wind turbine using GA-BPNN and TLS model [J]. Automation of electric power systems, 2020, 44(9): 95-104. (in Chinese)

[7] 赵斌娟,刘琦,付燕霞,等.基于人工神经网络的离心泵叶轮边界涡量流预测[J].排灌机械工程学报,2020,38(2):127-132.
ZHAO Binjuan, LIU Qi, FU Yanxia, et al. Boundary vorticity flux prediction of the centrifugal pump impeller based on artificial neural network[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2020, 38(2): 127-132. (in Chinese)

[8] 江显群,陈武奋.BP 神经网络与 GA-BP 农作物需水量预测模型对比[J].排灌机械工程学报,2018,36(8):762-766.
JIANG Xianqun, CHEN Wufen. Comparison between BP neural network and GA-BP crop water demand prediction model[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2018, 36(8): 762-766. (in Chinese)

[9] GONG D W, JING S, MIAO Z. A set-based genetic algorithm for interval many-objective optimization problems[J]. IEEE transactions on evolutionary computation, 2018, 22(99): 47-60.

[10] 皮骏,刘鹏,马圣,等.基于 MGA-BP 网络的航空轴承故障诊断[J].振动、测试与诊断,2020,40(2):381-388.
PI Jun, LIU Peng, MA Sheng, et al. Fault diagnosis of aviation bearings based on MGA-BP network [J]. Journal of vibration, measurement & diagnosis, 2020, 40(2): 381-388. (in Chinese)

（责任编辑　谈国鹏）