

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.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.03.004

苦荞耐低磷力鉴定及其产量和品质分析

汪 燕¹, 廖 凯¹, 喻武鹃¹, 黄 娟¹, 邓 娇¹, 霍冬教¹, 孙艳红², 王鹏程³,
梁成刚¹

(1. 贵州师范大学荞麦产业技术研究中心, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州中科项目数据分析师事务所有限公司, 贵州 贵阳 550008; 3. 贵州百世佳科技集团有限公司, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 选用 20 个苦荞审定品种为试验材料, 进行苦荞品种的耐低磷力鉴定及其农艺性状、产量与品质性状对低磷处理的响应研究。结果表明, 与对照相比, 低磷下苦荞单株粒数、单株籽粒质量和产量呈下降趋势, 种子总黄酮含量呈上升趋势; 4 种蛋白质组分含量在品种间差异大, 且对低磷的响应不一致。耐低磷力鉴定发现, 3 个品种生物产量耐低磷力达到 1 级, 5 个品种籽粒产量耐低磷力和 5 个品种的耐低磷力综合值达到 2 级; 1 个品种适应性达到 1 级。综合分析发现, 六苦 3 号为高产耐低磷品种、适应性达到 1 级, 晋荞麦 2 号为高产磷敏感品种。

关键词: 苦荞; 耐低磷; 产量; 蛋白质组分; 总黄酮

中图分类号: S517 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)03-0503-08

Identification of low-phosphorus tolerance and analysis of yield and quality in tartary buckwheat

WANG Yan¹, LIAO Kai¹, YU Wu-juan¹, HUANG Juan¹, DENG Jiao¹, HUO Dong-ao¹,
SUN Yan-hong², WANG Peng-cheng³, LIANG Cheng-gang¹

(1. Guizhou Normal University, Research Center of Buckwheat Industry Technology, Guiyang 550001, China; 2. Guizhou Zhongke Project Data Analyst Office Co., Ltd., Guiyang 550008, China; 3. Guizhou Baishijia Technology Group Co., Ltd., Guiyang 550003, China)

Abstract: Using 20 tartary buckwheat varieties as material, the resistance to low phosphorus the main traits of agronomic, yield and quality were investigated. The results indicated that the grain number per plant, the yield per plant and yield of tartary buckwheat under the treatment of low phosphorus showed a downward trend, but the flavonoids content showed an upward trend, compared with the control. The content of four protein components varied among the varieties, and

收稿日期: 2017-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660366、31760419); 贵州省科技厅合作计划项目[黔科合 LH 字(2017)7359 号、黔科合 LH 字(2015)7770 号、黔科合 LH 字(2016)7205]; 贵州省科学技术基金计划项目[黔科合基础(2016)1107]; 贵州省教育厅青年科技人才成长项目[黔教合 KY 字(2016)131 号]; 贵州师范大学资助博士科研项目

作者简介: 汪 燕(1985-), 女, 重庆人, 博士, 讲师, 主要从事荞麦生理与分子生物领域研究。(Tel) 0851-86780646; (E-mail) yanwanguf@163.com。廖凯为共同第一作者。

通讯作者: 梁成刚, (Tel) 0851-86780646; (E-mail): jesselcg@163.com

the responses to low phosphorus were inconsistent. The resistance to low-phosphorus stress in biological yield of three testing varieties reached level 1. The resistance to low-phosphorus stress in grain yield of five testing varieties reached level 2. The comprehensive value of five testing varieties reached level 2 and the adaptability of one testing variety reached level 1. The results of comprehensive analysis showed that Liukuqiao 3 was a high yield variety and had good low-phosphorus tolerance and adaptability (level 1), and Jinqiaomai 2 was a high yield variety and was sensitive to phosphorus.

Key words: tartary buckwheat; low phosphorus tolerance; yield; protein component; flavonoids

磷是作物生长和产量形成的重要营养元素之一。磷参与植物叶片的光合作用、电子传递等重要生理过程,在植物碳代谢、氮代谢、脂代谢中起着非常重要的作用^[1-4]。土壤中含有的大部分磷为难溶磷,不能被植物吸收利用,因此农业生产中必需施用大量的磷肥^[5]。磷肥的当季利用率非常低,仅为 5%~10%,磷流失造成农业环境污染^[1-6]。中国磷矿资源缺乏,迫切要求提高作物对磷肥的利用率,降低磷肥的投入。

荞麦(*Fagopyrum*)是中国特色药食兼用型小杂粮^[7-10]。荞麦包含甜荞(*Fagopyrum esculentum* Moench)和苦荞(*Fagopyrum tartaricum* Gaertn)2个栽培种^[8]。其中,苦荞总黄酮含量明显高于甜荞,降血脂、降血糖、降血压等保健功能更显著^[7-8]。侯鹏霞等^[11]研究发现,荞麦籽粒中不仅粗蛋白含量高,而且富含磷元素。苦荞主要种植于中国北方黄土高原与南方云贵川红土高原等地,具有耐冷、耐干旱、耐贫瘠等特性。荞麦是典型的磷肥依耐型作物,生产上磷肥的施用量甚至高于氮肥。刘迎春等^[12]研究发现,在赤峰地区磷肥的增产作用明显大于钾肥和氮肥。有研究结果表明,磷肥施用量在 70 kg/hm²时,苦荞主茎分枝数显著提高,产量达到 1 955.1 kg/hm²,较不施磷肥对照增产 45.91%^[13]。磷肥施用还能促进铝胁迫下荞麦对微量元素的吸收运输,减少对铝的吸收,降低铝胁迫对荞麦生长的抑制^[14-16]。

筛选耐低磷品种对于减少磷肥施用量,降低农业生产中磷肥流失对环境污染,提高农业生产效益具有重要的理论与现实意义。目前,不同苦荞品种对磷肥的响应及其效应仍不十分清楚。本课题组前期通过对 180 份苦荞种质资源进行鉴定,建立苦荞核心种质资源库^[17]。本试验在不同施磷水平下研究 20 份苦荞品种主要农艺性状、产量与品质性状及其相关特性,筛选磷高效苦荞种质资源,为磷高效新品种选育与栽培推广提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 8 份贵州省审定的苦荞品种与 12 份引进的苦荞审定品种为材料,其中,来自贵州的品种为六

苦 2 号(LK2)、六苦 3 号(LK3)、六苦 4 号(LK4)、黔黑荞 1 号(QK1)、黔苦 2 号(QK2)、黔苦 3 号(QK3)、黔苦 4 号(QK4)、黔苦 5 号(QK5),来自四川的为川荞 1 号(CQ1)、川荞 2 号(CQ2)、川荞 3 号(CQ3)、川荞 5 号(CQ5)和西荞 2 号(XQ2),来自云南的为云荞 2 号(YQ2)、昭苦 1 号(ZQ1)、昭苦 2 号(ZQ2)和迪苦 1 号(DK1),来自宁夏的品种为宁荞 2 号(NQ2),来自山西的品种为晋荞麦 2 号(JQ2),来自湖南的品种为凤凰苦荞(FKQ)。试验地为贵州师范大学荞麦产业技术研究中心百宜试验基地,供试土壤为黄色土,土壤有机质 15.11 g/kg、全氮 0.97 g/kg、速效氮 89.32 mg/kg、速效磷 21.67 mg/kg、速效钾 193.45 mg/kg、pH 6.02,基础肥力中等,速效磷为二级水平。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,2015 年 8 月播种,条播,行距 33.3 cm,小区面积为 4 m²(2 m×2 m),3 次重复,种植密度为每 1 hm² 1×10⁶株。肥料作为底肥一次性施入,氮肥(硝酸铵)施用量为纯氮 60 kg/hm²,钾肥(氯化钾)为 K₂O 30 kg/hm²,以不施磷肥为低磷处理,施用 60 kg/hm² P₂O₅(过磷酸钙)为对照。苦荞全生育期内处理与对照的栽培与管理等措施均保持一致。

1.3 样品采集与测定

苦荞成熟后对每个小区进行测产,并选取生长正常的 12 个单株调查农艺性状与产量性状,同时,将茎叶与籽粒分装并置于 60 ℃烘箱中干燥 2 d 至恒质量,供干物质质量与粒质量测定,然后将茎秆与籽粒分别粉碎,并过 100 目筛,供蛋白质组分与总黄酮含量的测定。

1.4 试验方法

1.4.1 品种耐低磷力分析 品种的适应性、耐低磷力、综合力等指标计算参考刘鸿雁等^[18]的方法。

品种适应力 = (低磷处理下的品种产量 - 20 个品种平均产量) / 20 个品种平均产量 × 100%;

产量耐低磷力 = 低磷处理的籽粒产量 - 施磷处理籽粒产量 × 100%;

生物产量耐低磷力 = 低磷处理的生物产量 / 施磷处理生物产量 × 100%;

耐低磷力综合值 = (产量耐低磷力 + 品种适应

力)/2。

1.4.2 蛋白质组分含量测定 称取待测样品0.100 0 g,使用蒸馏水提取清蛋白,使用氯化钠溶液(10%)提取球蛋白,使用正丙醇(55%)提取醇溶蛋白,使用谷蛋白提取液(含1.68% KOH 溶液、0.24% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、0.5%酒石酸钾钠和50%异丙醇)提取谷蛋白。蛋白质组分的提取与测定参考汪燕等^[19]的方法。

1.4.3 总黄酮含量测定 称取待测样品0.100 0 g,使用2 ml 80%乙醇在70 ℃水浴锅中浸提4~8 h,然后超声提取10 min,静置后收集上清液,总黄酮含量的测定参考徐宝才等^[20-22]的方法。

1.5 数据处理与分析

数据使用 Excel 2003 与 SPSS18.0 软件进行统

计分析。

2 结果与分析

2.1 苦荞农艺性状对低磷处理的响应

对苦荞成熟期的农艺性状进行调查,结果(表1)表明,与对照相比,低磷处理下苦荞的株高和茎叶质量在总体上呈现下降趋势,品种间茎叶质量变幅较大。方差分析结果表明,8个品种的株高呈显著或极显著低于对照,9个品种的茎叶质量呈显著或极显著低于对照。但不同苦荞品种的分枝数对磷肥的响应不一致,其中,2个品种的分枝数极显著低于对照,2个品种的分枝数极显著或显著高于对照,其余品种差异均不显著。

表1 苦荞农艺性状对低磷的响应

Table 1 The response of the major agronomic traits to low phosphorus treatment

品种	株高 (cm)		分枝数		茎叶质量 (g)	
	对照	低磷处理	对照	低磷处理	对照	低磷处理
CQ1	87.75±5.26	84.88±5.66	5.50±0.55	3.67±0.52 **	0.74±0.14	0.72±0.07
CQ2	79.08±6.17	72.35±6.72	4.17±0.41	3.83±0.41	0.55±0.14	0.48±0.08
CQ3	96.85±7.23	85.67±3.86 **	4.83±0.41	3.83±0.41 **	0.75±0.14	0.53±0.10 **
CQ5	103.48±7.55	98.22±6.41	3.67±0.52	4.17±0.41	1.13±0.12	1.14±0.12
XQ2	94.70±5.42	86.75±6.08 *	4.67±0.52	4.83±0.75	0.90±0.09	0.78±0.06 *
YQ2	92.60±5.39	77.78±4.41 **	4.17±0.75	3.83±0.75	0.60±0.08	0.50±0.07
ZQ1	98.82±5.71	93.35±7.27	3.33±1.03	3.33±0.52	0.73±0.07	0.74±0.06
ZQ2	86.43±6.37	79.02±7.04	3.50±0.84	3.50±0.84	0.74±0.12	0.43±0.06 **
DK1	93.12±5.92	85.53±4.48 *	5.00±0.63	4.33±1.03	0.89±0.07	0.75±0.05 **
NQ2	86.45±5.03	87.35±5.78	4.33±0.52	3.83±0.75	0.79±0.09	0.68±0.04 *
LK2	94.88±5.27	96.92±8.42	4.00±0.63	4.83±0.41 *	1.11±0.21	0.92±0.08
LK3	96.53±5.53	92.30±7.01	5.67±0.52	5.17±0.75	1.59±0.19	1.40±0.08
LK4	100.22±5.76	93.57±5.94	3.67±1.03	4.67±0.82	1.22±0.20	1.05±0.07
QK1	98.10±6.18	86.30±3.35 **	6.50±0.84	6.00±0.89	1.20±0.18	0.83±0.06 **
QK2	101.83±7.79	101.35±5.42	4.33±0.82	4.00±0.63	1.20±0.16	0.82±0.05 **
QK3	95.25±5.06	96.67±6.56	4.83±0.41	4.83±0.41	0.98±0.08	0.96±0.07
QK4	115.37±7.76	92.12±6.19 **	5.00±0.63	4.33±0.82	1.31±0.16	0.88±0.06 **
QK5	116.32±8.1	107.43±6.86	5.33±0.52	4.83±0.41	1.62±0.17	1.54±0.09
JQ2	115.37±7.05	103.08±5.58 **	4.67±0.75	5.67±0.82 **	1.00±0.11	1.13±0.08
FKQ	103.33±4.73	84.33±5.01 **	4.67±0.82	4.83±0.41	1.05±0.06	0.72±0.06 **

CQ1 为川荞1号、CQ2 为川荞2号、CQ3 为川荞3号、CQ5 为川荞5号、XQ2 为西荞2号、YQ2 为云荞2号、ZQ1 为昭苦1号、ZQ2 为昭苦2号、DK1 为迪苦1号、NQ2 为宁荞2号、LK2 为六苦2号、LK3 为六苦3号、LK4 为六苦4号、QK1 为黔黑荞1号、QK2 为黔苦2号、QK3 为黔苦3号、QK4 为黔苦4号、QK5 为黔苦5号、JQ2 为晋荞麦2号、FKQ 为凤凰苦荞。*、** 分别表示同一品种处理间差异达到0.05与0.01显著水平。

2.2 苦荞的产量性状对低磷处理的响应

对苦荞成熟期的产量性状进行测定,结果(表 2)表明,与对照相比,低磷处理下苦荞的单株粒数和单株籽粒质量在总体上呈现下降趋势,其中 8 个品种的单株粒数显著或极显著低于对照,9 个品种

的单株籽粒质量显著或极显著低于对照;而苦荞百粒质量对磷肥的响应并不一致,其中 4 个品种的百粒质量在低磷处理下显著或极显著低于对照,4 个品种的百粒质量显著或极显著高于对照。

表 2 苦荞的主要产量性状对低磷的响应

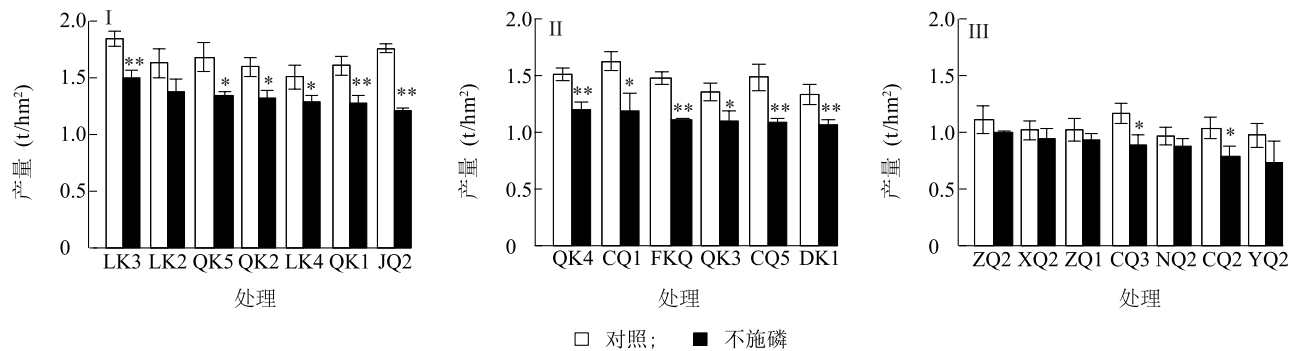
Table 2 The response of the major yield traits to low phosphorus treatment

品种	单株粒数		单株籽粒质量 (g)		百粒质量 (g)	
	对照	低磷处理	对照	低磷处理	对照	低磷处理
CQ1	158.00±24.41	154.33±17.26	3.92±0.59	3.90±0.50	2.48±0.02	2.45±0.03
CQ2	182.33±22.98	114.00±14.21 **	4.11±0.53	2.49±0.28 **	2.25±0.05	2.16±0.07
CQ3	118.00±21.87	88.83±12.29b *	2.81±0.51	2.10±0.26 *	2.38±0.02	2.41±0.03
CQ5	199.17±21.66	188.67±19.12	4.75±0.50	4.59±0.51	2.38±0.03	2.42±0.04
XQ2	113.00±13.04	111.17±16.07	2.65±0.32	2.56±0.32	2.34±0.03	2.33±0.06
YQ2	100.83±13.59	89.33±9.95	2.35±0.30	2.08±0.21	2.33±0.04	2.32±0.03
ZQ1	142.33±16.62	114.50±17.13 *	3.39±0.40	2.81±0.40 *	2.38±0.01	2.52±0.04 **
ZQ2	135.33±9.24	70.67±4.08B **	3.14±0.24	1.66±0.10 **	2.32±0.03	2.28±0.02 **
DK1	184.33±26.61	165.00±19.41	4.71±0.49	3.83±0.38 *	2.29±0.03	2.12±0.03 *
NQ2	116.83±15.11	109.67±9.56	2.64±0.27	2.51±0.27	2.26±0.12	2.27±0.07
LK2	164.33±18.69	116.50±15.69 **	3.86±0.47	2.80±0.31 **	2.35±0.02	2.48±0.02 **
LK3	228.17±31.69	222.33±21.78	5.53±0.76	5.33±0.64	2.43±0.01	2.32±0.02 **
LK4	160.33±25.77	145.17±24.54	3.89±0.66	3.59±0.60	2.42±0.03	2.49±0.03 *
QK1	172.33±19.22	126.00±17.31 **	4.04±0.47	2.92±0.45 **	2.34±0.03	2.35±0.03
QK2	179.00±16.91	118.33±16.71 **	4.13±0.42	2.65±0.37 **	2.31±0.06	2.23±0.05
QK3	121.17±19.55	119.67±17.22	2.85±0.42	2.80±0.38	2.36±0.05	2.36±0.03
QK4	124.67±11.50	126.83±11.36	3.02±0.28	3.05±0.27	2.43±0.01	2.42±0.02
QK5	232.33±28.01	209.67±20.50	4.92±0.59	4.60±0.47	2.12±0.02	2.19±0.01 **
JQ2	172.17±20.74	126.50±9.89 **	4.10±0.49	2.92±0.25 **	2.38±0.02	2.34±0.02 *
FKQ	223.83±29.64	195.00±17.12	4.45±0.61	3.80±0.31	1.99±0.04	1.97±0.02

CQ1、CQ2、CQ3、CQ5、XQ2、YQ2、ZQ1、ZQ2、DK1、NQ2、LK2、LK3、LK4、QK1、QK2、QK3、QK4、QK5、JQ2、FKQ 见表 1 注。*、** 分别表示同一品种处理间差异达到 0.05 与 0.01 显著水平。

如图 1 所示,低磷处理导致 20 个苦荞品种的产量均明显下降,下降幅度为 7.43%~31.12%,其中 14 个品种的产量与对照达到显著或极显著水平。FAOSTAT 数据显示近年来中国荞麦的产量一直徘徊在 1.00 t/hm²左右^[23]。根据 20 个品种在低磷处理下的产量表现,将其分为 3 个不同区段。7 个苦荞品种产量较高(类型 I),产量为 1.21~1.50 t/hm²;6 个苦荞品种产量表现次之(类型 II),产量为 1.01~1.20

t/hm²;7 个苦荞品种产量表现最低(类型 III),产量≤1.00 t/hm²。其中,六苦 3 号在不同磷水平下产量均高于其他品种,对照条件与低磷处理下产量分别达到 1.84 t/hm²和 1.51 t/hm²。晋荞麦 2 号在对照条件下产量达到 1.76 t/hm²,排名第 2,但在低磷条件下产量仅为 1.21 t/hm²,减产幅度最大,达到 31.12%。说明六苦 3 号为高产耐低磷品种,而晋荞麦 2 号为高产磷敏感型品种。



I: 低磷处理下苦荞产量1.21~1.51 t/hm²; II: 低磷处理下苦荞产量1.01~1.20 t/hm²; III: 低磷处理下苦荞产量≤1.00 t/hm²。CQ1、CQ2、CQ3、CQ5、XQ2、YQ2、ZQ1、ZQ2、DK1、NQ2、LK2、LK3、LK4、QK1、QK2、QK3、QK4、QK5、JQ2、FKQ 见表1注。*、** 分别表示同一品种处理间差异达到0.05与0.01显著水平。

图1 苦荞产量及其对低磷的响应

Fig.1 The yield of tartary buckwheat and the response to low phosphorus treatment

2.3 苦荞的品质性状

如图2所示,低磷处理下,苦荞的球蛋白含量总体上呈现上升趋势,其中14个品种的球蛋白含量显著或极显著提高;苦荞的醇溶蛋白含量受低磷处理的影响较小,其中17个品种的醇溶蛋白含量与对照差异不显著;苦荞的清蛋白对低磷处理的响应并不一致,其中13个品种与对照差异不显著,5个品种显著或极显著高于对照,2个品种显著或极显著低于对照;类型I中7个品种的谷蛋白含量受低磷处理的影响较小,与对照差异不显著,类型II中3个品种谷蛋白含量与对照差异达到显著或极显著水平,类型III中4个品种谷蛋白含量与对照差异达到显著或极显著水平。

如图3所示,与对照相比,低磷处理下20个苦荞品种的总黄酮含量存在显著差异,变化幅度为-3.21%~49.62%,以晋荞麦2号含量最高,达到20.12 mg/g;仅2个品种总黄酮含量低于对照,18个品种的总黄酮含量显著或极显著高于对照,其中11个品种的总黄酮含量较对照提高20%以上。

2.4 苦荞耐低磷力鉴定

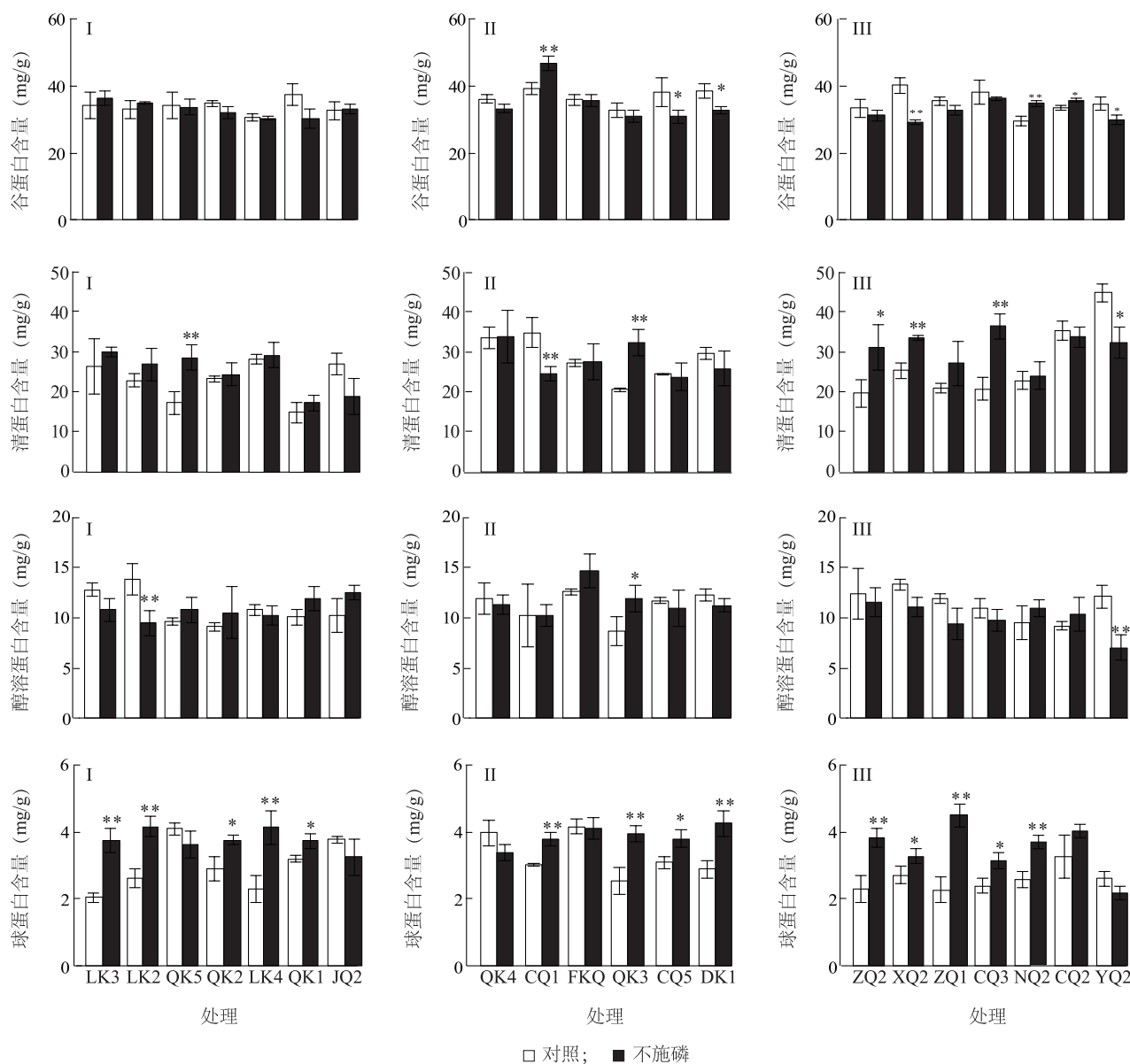
刘鸿雁等^[18]研究指出,耐低磷力和品种适应性是鉴定作物对低磷响应能力的一个重要筛选指标。由表3可知,供试20个苦荞品种中仅类型II的CQ1、QK3和CQ5的生物产量耐低磷力高于95%,达到1级耐低磷能力,但苦荞是以收

获籽粒为产量的作物,因此,以产量耐低磷力与品种适应性为主要筛选鉴定指标。根据刘鸿雁等报道的分级评价指标,本研究中品种适应性>30%的仅有LK3,8个品种的适应性为5%~30%,达到2级,4个品种的适应性为-10%~0,达到4级,7个品种的适应性<-10%,为5级;没有1个品种的产量耐低磷力>95%,5个品种的产量耐低磷力为85%~95%,达到2级,11个品种的产量耐低磷力为75%~85%,达到3级,4个品种的产量耐低磷力为65%~75%,达到4级;没有1个品种的耐低磷力综合值>62.5%,6个品种的耐低磷力综合值为45.0%~62.5%,达到2级;7个品种的耐低磷力综合值为37.5%~45.0%,达到3级;5个品种的耐低磷力综合值为27.5%~37.5%,达到4级;2个品种的耐低磷力综合值<27.5,为5级。

3 讨论

3.1 苦荞的农艺与产量性状及其对低磷的响应

据FAOSTAT报道,2014年中国荞麦的单位面积产量仅为0.99 t/hm²^[23]。本研究发现,对照条件下,贵州省审定的8个苦荞品种单位面积产量为1.36~1.85 t/hm²,12个引进苦荞品种在0.97~1.76 t/hm²,品种间差异较大,引进品种单位面积产量与品质适应力在总体上低于本地品种,这可能与引进品种遗传背景及其对环境的适应性存在差异有关。



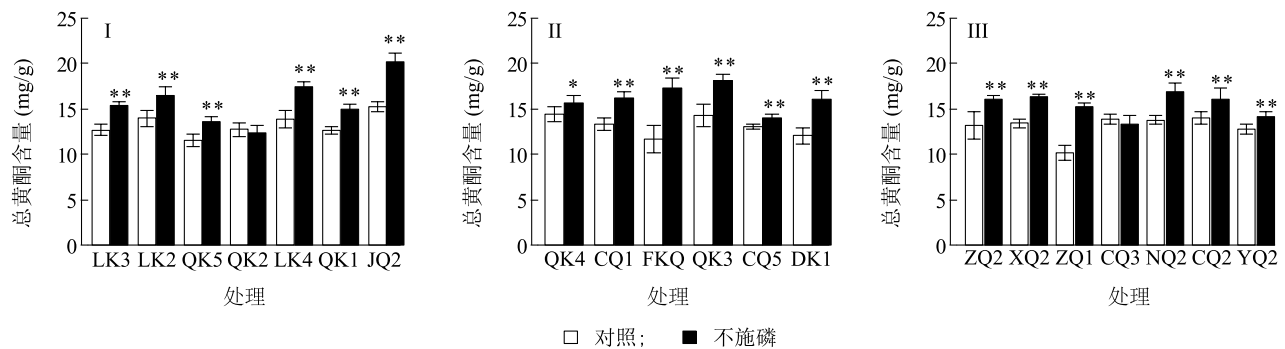
I: 低磷处理下苦荞产量 $1.21 \sim 1.50 \text{ t/hm}^2$; II: 低磷处理下苦荞产量 $1.01 \sim 1.20 \text{ t/hm}^2$; III: 低磷处理下苦荞产量 $\leq 1.00 \text{ t/hm}^2$ 。CQ1、CQ2、CQ3、CQ5、XQ2、YQ2、ZQ1、ZQ2、DK1、NQ2、LK2、LK3、LK4、QK1、QK2、QK3、QK4、QK5、JQ2、FKQ 见表 1 注。*、** 分别表示同一品种处理间差异达到 0.05 与 0.01 显著水平。

图 2 苦荞的蛋白质组分含量对低磷的响应

Fig.2 The content of protein component of tartary buckwheat and the response to low-phosphorus treatment

苦荞是典型的耐贫瘠作物,常种植于中国高寒山区。由于苦荞的产量与产值较低,农户在生产上不愿意投入肥料,生产管理也非常粗放,因此,筛选耐低磷苦荞品种对于苦荞生产尤为重要。与其他作物相比,荞麦耐低磷种质资源的筛选与鉴定研究鲜有报道,而荞麦对磷肥的需求又较强。刘迎春等^[12]研究指出,赤峰荞麦产区磷肥的增产作用明显大于氮肥。宋毓雪等^[13]以贵州审定品种黔苦 6 号为材料,研究发现

施用磷肥 70 kg/hm^2 时,产量较不施磷肥增产 45.91%,分枝数显著提高。本研究发现,不施磷肥处理下,20 个苦荞品种的产量较对照下降 7.43%~31.12%,说明供试土壤中磷较为缺乏,不能满足苦荞生产所需。此外,研究还发现苦荞的茎叶质量较对照变幅较大,品种间差异较大,不同品种的分枝数对磷肥响应不一致。说明苦荞不同基因型材料对磷肥的吸收和生理利用效率存在差异。



I: 低磷处理下苦荞产量 $1.21 \sim 1.50 \text{ t/hm}^2$; II: 低磷处理下苦荞产量 $1.01 \sim 1.20 \text{ t/hm}^2$; III: 低磷处理下苦荞产量 $\leq 1.00 \text{ t/hm}^2$ 。CQ1、CQ2、CQ3、CQ5、XQ2、YQ2、ZQ1、ZQ2、DK1、NQ2、LK2、LK3、LK4、QK1、QK2、QK3、QK4、QK5、JQ2、FKQ 见表1注。*、** 分别表示同一品种处理间差异达到0.05与0.01显著水平。

图3 苦荞的总黄酮含量及其对低磷的响应

Fig.3 The flavonoid content of tartary buckwheat and the response to low-phosphorus treatment

表3 苦荞耐低磷能力的鉴定

Table 3 Identification of low-phosphorus tolerance in tartary buckwheat

类型	品种	适应力 (%)	生物产量耐低磷力 (%)	籽粒产量耐低磷力 (%)	综合值 (%)
I	LK3	35.57	94.55	81.44	58.50
	LK2	24.24	74.82	84.66	54.45
	QK5	20.85	93.91	79.80	50.33
	QK2	19.38	65.10	83.04	51.21
	LK4	15.63	90.83	85.19	50.41
	QK1	14.58	71.41	79.16	46.87
	JQ2	9.16	76.16	68.88	39.02
II	QK4	7.87	90.72	79.52	43.69
	CQ1	7.01	99.00	73.05	40.03
	FKQ	-0.49	82.20	74.77	37.14
	QK3	-1.44	98.09	80.67	39.62
	CQ5	-2.20	96.65	73.13	35.46
	DK1	-4.12	74.42	79.83	37.85
III	ZQ2	-10.52	53.73	89.71	39.60
	XQ2	-15.08	94.40	92.57	38.75
	ZQ1	-16.58	86.06	90.33	36.88
	CQ3	-19.83	73.97	76.43	28.30
	NQ2	-21.04	92.85	90.85	34.91
	CQ2	-28.82	63.91	76.27	23.72
	YQ2	-34.15	87.61	75.20	20.53

CQ1、CQ2、CQ3、CQ5、XQ2、YQ2、ZQ1、ZQ2、DK1、NQ2、LK2、LK3、LK4、QK1、QK2、QK3、QK4、QK5、JQ2、FKQ 见表1注。

4种类型:高产磷高效型、高产磷低效型、低产磷高效型、低产磷低效型。兰忠明等^[25]对9个紫云英材料进行不施磷处理,筛选鉴定出闽紫7号为高耐低磷型品种,8487711和闽紫7号为磷高效利用品种,余江大叶为磷敏感基因型品种。刘鸿雁等^[18]研究发现,磷浓度、磷吸收效率及磷利用效率难以作为磷高效基因型玉米的筛选指标,产量是评价作物基因型耐低磷能力的关键指标。本试验中六苦3号在低磷处理下产量高于其他品种,品种适应力达到1级但其产量耐低磷力仅为3级;5个品种的产量耐低磷力达到2级,其中仅六苦4号属于高产类型品种,其余4个均属于低产类型品种。此外,晋荞麦2号虽然产量耐低磷力最低,为磷敏感基因型品种,但其属于高产类型,且在施磷处理下产量达到 1.76 t/hm^2 ,排名第2。

3.2 苦荞的品质性状及其对低磷的响应

谷物蛋白质的含量及其组成成份是衡量其营养价值的主要指标之一。不同作物的蛋白质组分含量及其比例差异较大。例如,水稻谷蛋白含量最高^[26],小麦醇溶蛋白含量最高^[27]。刘拥海等^[27]研究发现苦荞清蛋白含量最高,占71.4%,谷蛋白含量次之,占12.10%。本研究发现20个苦荞品种中清蛋白与谷蛋白含量相当,与刘拥海等^[27]的研究结果并不一致。这可能与谷蛋白提取时所使用的提取方法存在差异有关。此外,本研究还发现不同品种间4种蛋白质组分含量的变异幅度较大,说明不同苦荞品种的蛋白质组分积累对磷肥的响应并不一致,但其具体原因还有待进一步研究。

李莉等^[24]通过低磷处理将27份中熟水稻分为

苦荞是典型的药食同源作物,其黄酮含量高,富含芦丁,具有降血糖、降血压、降血脂的保健疗效。1946年,研究者就已指出荞麦是生物芦丁提取的主要作物之一^[28]。本研究发现,除黔苦2号与川荞3号外,其余18个苦荞品种的总黄酮含量在低磷处理下显著或极显著提高,其中晋荞麦2号达到20.12 mg/g,较对照提高49.62%。说明低磷条件有助于苦荞籽粒中总黄酮积累。

3.3 苦荞高产优质耐低磷品种筛选

李喜焕等^[29]指出,中国现阶段磷高效育种研究应选育低磷条件下生长良好,同时外施磷肥又能显著增加产量的新品种。本研究发现,晋荞麦2号即为高产磷敏感型品种,可作为苦荞磷高效核心种质资源利用;六苦3号在不同磷处理下产量均高于其他品种,适应性达到1级,可作为高产耐低磷品种直接用于贵州地区种植推广。

参考文献:

- [1] 张云霞,雷鹏,许宗奇,等.一株高效解磷菌 *Bacillus subtilis* JT-1 的筛选及其对土壤微生物生态和小麦生长的影响[J].江苏农业学报,2016,32(5):1073-1080.
- [2] 吕睿,贾凤安,刘晨,等.无机磷降解菌株的分离、鉴定及解磷能力[J].江苏农业科学,2017,45(20):295-298.
- [3] VENEKLAAS E, LAMBERS H, BRAGG J, et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants[J]. New Phytologist, 2012, 95(2):306-320.
- [4] 刘露,李丽,闫洪雪,等.一株高效解磷菌的筛选、鉴定及解磷特性研究[J].山东农业科学,2016,48(11):69-71,75.
- [5] 程明芳,何萍,金继运.我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J].作物杂志,2010(1):2-14.
- [6] ROTHSTEIN S J. Returning to our roots: making plant biology research relevant to future challenges in agriculture[J]. Plant Cell, 2007, 19(9):2695-2699.
- [7] 林汝法.苦荞举要[M].北京:中国农业科技出版社,2013:9.
- [8] 陈庆富.荞麦属植物科学[M].北京:科学出版社,2012:50, 220-226.
- [9] 任长忠,赵钢.中国荞麦学[M].北京:中国农业出版社,2015:30-51.
- [10] 常庆涛,焦庆清,刘荣甫,等.荞麦新品种苏荞1号的选育与栽培技术[J].江苏农业科学,2017,45(18):79-80.
- [11] 侯鹏霞,睦丹,周玉香,等.荞麦各部位营养成分分析[J].饲料研究,2013(6):82-83.
- [12] 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.
- [13] 宋毓雪,胡静洁,孔德章,等.不同氮、磷、钾水平对苦荞产量和品质的影响[J].安徽农业大学学报,2014,41(3):411-415.
- [14] 邢承华,朱美红,张淑娜,等.磷对铝胁迫下荞麦根际土壤铝形态和酶活性的影响[J].生态环境学报,2009,18(5):1944-1948.
- [15] 朱美红,蔡妙珍,吴韶辉,等.磷对铝胁迫下荞麦元素吸收与运输的影响[J].水土保持学报,2009,23(2):183-187.
- [16] 王宁,郑怡,王芳妹,等.铝毒胁迫下磷对荞麦根系铝形态和分布的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):168-171.
- [17] 潘凡,石桃雄,陈其皎,等.苦荞种质主要农艺性状的变异及其对单株粒重的贡献研究[J].植物科学学报,2015,33(6):829-839.
- [18] 刘鸿雁,黄建国,魏成熙,等.磷高效基因型玉米的筛选研究[J].中国土壤与肥料,2004(5):25-29.
- [19] 汪燕,梁成刚,孙艳红,等.不同苦荞品种的产量与品质及其对低氮的响应[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2017,35(6):66-73.
- [20] 徐宝才,丁霄霖.苦荞黄酮的测定方法[J].无锡轻工大学学报(食品与生物技术),2003,22(2):98-101.
- [21] 王涛,段淑敏.超声波提取苦荞麦总黄酮的工艺探索[J].食品工程,2012(4):27-30.
- [22] 刘三才,李为喜,刘方,等.苦荞麦种质资源总黄酮和蛋白质含量的测定与评价[J].植物遗传资源学报,2007,8(3):317-320.
- [23] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Agricultural market information system market database (AMIS): China, 2014, total cereal yield. [R/OL] (2016-07-06) [2018-01-18]. <http://statistics.amis-outlook.org>.
- [24] 李莉,张锡洲,李廷轩,等.高产磷高效水稻磷素吸收利用特征[J].应用生态学报,2014,25(7):1963-1970.
- [25] 兰忠明,钟少杰,何春梅,等.紫云英磷素养分高效利用品种筛选[J].中国土壤肥料,2014(6):67-70.
- [26] 石玉,张永丽,于振文.小麦籽粒蛋白质组分含量及其与加工品质的关系[J].作物学报,2009,35(7):1306-1312.
- [27] 刘拥海,俞乐,肖迪.荞麦种子蛋白质组分分析[J].种子,2006,25(12):31-33.
- [28] COUCH J, NAGHSKI J, KREWSON C. Buckwheat as a source of rutin[J]. Science, 1946, 103(2668):197-198.
- [29] 李喜焕,常文锁,张彩英.中国大豆磷素营养及磷高效品种筛选最新进展[J].大豆科学,2011,30(2):322-327.

(责任编辑:陈海霞)