

郭炳麟,孙洪仁,王显国,等. 荞麦土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量建模[J/OL]. 大麦与谷类科学,2024,41(4):18-23. https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2024.04.004.

荞麦土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量建模

郭炳麟¹,孙洪仁^{1*},王显国¹,张运龙¹,王振国²,白乙拉图²,张桂华²,文峰²,金晓光²,包雪莲²,刘伟春³

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院,北京 100193;2. 通辽市农牧科学研究所,内蒙古 通辽 028015;

3. 库伦旗农业技术推广中心,内蒙古 库伦 028200)

摘要:为建立荞麦测土推荐施磷系统,采用作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究新方法,开展了荞麦土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量研究。结果表明,荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷含量回归方程为 $y = 10.352 \ln x + 58.085$,土壤有效磷第1—7级指标依次为 > 58 、 $> 22 \sim 58$ 、 $> 8.5 \sim 22$ 、 $> 3.5 \sim 8.5$ 、 $> 1.2 \sim 3.5$ 、 $> 0.5 \sim 1.2$ 、 ≤ 0.5 mg/kg。当土壤有效磷丰缺级别1—7级、磷肥利用率15%~35%、目标产量0.90~3.75 t/hm²时,第1—7级土壤的适宜施磷量分别为0.4~38、8~75、12~113、15~150、19~188、23~225 kg/hm²;磷肥利用率35%、30%、25%、20%、15%的适宜施磷量范围依次为0~96、0~113、0~135、0~169、0~225 kg/hm²;目标产量0.90、1.50、2.25、3.00、3.75 t/hm²的适宜施磷量范围分别为0~54、0~90、0~135、0~180、0~225 kg/hm²。

关键词:中国;荞麦;测土施肥;有效磷;丰缺指标;施肥量

中图分类号:S153.6;S517

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20240051

荞麦是起源于我国的重要药食同源杂粮作物,主要分为甜荞和苦荞2个栽培种。我国荞麦种植面积60余万hm²,产量50万余t,仅次于俄罗斯,位居世界第2^[1]。合理施肥是荞麦高产、优质、高效和可持续发展的前提基础。施肥不足,难以实现荞麦生产目标;施肥过量,不仅徒增成本,还会降低荞麦产量、质量和效益,并且对土壤、大气和水资源等生态环境造成污染,进而危害人们身体健康。因此,科学确定荞麦施肥量十分重要。

养分平衡-地力差减法、养分平衡-土壤有效养分校正系数法、肥料效应函数法和土壤养分丰缺指标法是确定作物施肥量的4种基本方法^[2-7]。肥料效应函数法的优点是源于田间试验,可靠、直观;缺点是时间和空间有效性难以确定,耗时、费工,几乎每个不同肥力地块,每隔几年就要做一次试验^[6]。养分平衡-地力差减法的优点是概念简明,逻辑清晰,容易理解,源于田间试验,可靠、较为直观;缺点与肥料效应函数法相似,亦是时间和空间有效性难以确定,需要大量且频繁地开展田间试验^[6]。养分平

衡-土壤有效养分校正系数法的优点是测土定肥,简单易行,省时、省工;缺点是校正系数不是常数,因作物种类和土壤类型而异,与土壤有效养分含量对数负相关的变量,应用养分平衡-土壤有效养分校正系数法需要建立众多校正系数系列^[2-7]。土壤养分丰缺指标法的优点是空间适用范围大,时间持久,省时省力,简便易行,因而一经创立^[8]便迅速成为世界各国广泛应用的测土施肥的主流乃至标准方法;缺点是采用该法建立作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统的工程较大,需要投入大量的人力、物力和财力^[2-7]。

欧美发达国家作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究的历史已近80年,美国甚至各州都针对各种作物建立了各自的土壤养分丰缺指标推荐施肥系统^[2-7]。我国作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究始于20世纪80年代^[9-10],但针对荞麦的研究尚未见报道,以至于我国荞麦测土施肥至今仍然无据可依。中国农业大学孙洪仁团队于2013年创建了以“养分平衡-地力差减法新应用公式”“土壤养分丰缺分级改良方案”和“零散试验数据整合法”为核心的作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究新方法^[6,11-13]。该新方法有效地克服了包括荞麦在内的诸多小作物科研投入强度偏低、需要大量资金支持及专家投入的“土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究”的难题。采用该新方法,孙洪仁团队成功建

收稿日期:2024-05-20;修回日期:2024-08-06。

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-34)。

作者简介:郭炳麟(2002—),女,主要从事牧草和作物测土施肥研究。Email: binglin.guo@foxmail.com。

*通信作者:孙洪仁(1965—),男,硕士,副教授,主要从事牧草栽培和作物水肥管理研究。Email: sunhongren@cau.edu.cn。

立了甜菜、甘蔗、苹果、棉花、苜蓿、谷子、大麦、西瓜和燕麦^[14-22]等诸多作物的土壤养分丰缺指标推荐施肥系统。氮、磷、钾乃植物营养三要素,为土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究之重点所在。为了建立我国荞麦测土推荐施磷系统,采用孙洪仁团队创建的新方法^[6,11-13]开展了我国荞麦土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量研究。

1 材料与方法

采用“零散试验数据整合法”^[6,11-13]建立我国荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷含量回归方程。具体做法如下:1)搜集科学家们数十年来针对荞麦在全国各地出于各种目的所作施磷试验的相关文献;2)提取施磷处理产量、缺磷处理产量和土壤有效磷含量的数据;3)采用式(1)计算荞麦缺磷处理相对产量;4)建立土壤有效磷含量与荞麦缺磷处理相对产量回归方程。该法的核心价值是将“沉睡”的荞麦施磷试验资源唤醒,“将散落的珍珠串成项链”,不仅有效地解决了小作物科研投入强度偏低、土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究薄弱的问题,而且有利于利用三大作物等的大数据开展不同历史年代、自然区域、土壤类型、耕作制度等的比较研究。

$$R_p = Y_p \div Y_P \quad (1)$$

式中: R_p 为缺磷处理相对产量; Y_p 和 Y_P 分别为缺磷处理产量和施磷处理产量。

采用“土壤养分丰缺分级改良方案”^[6,11]对土壤有效磷含量进行分级。统一和均等化各丰缺级别的缺素处理相对产量跨度为10%和确定100%作为最高丰缺级别的缺素处理相对产量下限为该改良方案的主要特点。优点有四:一是土壤养分丰缺分级的主观随意性降至最低、客观决定性升至最高;二是不同丰缺级别土壤推荐施肥的精准度得以统一;三是整套分级方案的科学性和实践性得以兼顾;四是最高丰缺级别土壤的产量损失得以避免。将改良方案中各个丰缺级别节点的缺素处理相对产量数值,如100%、90%、80%,代入荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷含量回归方程,计算不同丰缺级别所对应的土壤有效磷含量指标。

采用“养分平衡-地力差减法新应用公式”^[6,12],计算荞麦适宜施磷量。该新应用公式核心特征是将引入变量“缺素处理相对产量”作为纽带与“土壤养

分丰缺指标分级方案”联结起来;核心优势是省却田间试验的劳烦,实现不同丰缺级别土壤适宜施磷量的直接计算。

$$F_p = Y_t \times P_n \times (1 - R_p) \div E_p \quad (2)$$

式中: F_p 、 Y_t 、 P_n 、 R_p 和 E_p 分别代表荞麦适宜施磷量、目标产量、单位经济产量磷素吸收量、缺磷处理相对产量和磷肥利用率。

自然条件、品种、种植制度等对荞麦产量影响巨大。如西南地区苦荞单产水平一般明显高于北方甜荞。根据我国荞麦当前的生产实际状况,确定5个目标产量,分别为0.90、1.50、2.25、3.00、3.75 t/hm²。水肥管理模式对肥料利用率具有很大影响,如旱作雨养模式下,施肥次数很少,磷肥利用率一般在15%以下;滴灌+水肥一体化模式下,水肥同步,施肥次数亦颇多,磷肥利用率可高达50%以上。依据我国荞麦的水肥管理实践,确定5个磷肥利用率,分别为15%、20%、25%、30%和35%。以文献^[23-26]为主要依据,结合若干荞麦营养与施肥专家意见,确定我国荞麦单位经济产量磷素吸收量(P_2O_5)为15 kg/t。5个荞麦目标产量磷素吸收量(目标产量和单位经济产量磷素吸收量之积)依次为13.50、22.50、33.75、45.00、56.25 kg/hm²。

2 结果与分析

2.1 我国荞麦施磷试验研究文献和数据

搜集到我国开展的符合要求的可用荞麦施磷试验文献总计27篇^[24,27-52]。其中1981—1990年1篇^[27]、1991—2000年3篇^[28-30]、2001—2010年3篇^[24,31-32]、2011—2020年17篇^[33-49]、2021—2023年3篇^[50-52];田间试验24篇^[24,27-43,45,48-52]、盆栽试验2篇^[44,46]、池栽试验1篇^[47]。上述研究涉及土壤类型10余个、品种20余个、旗县市区20个。施磷处理施磷量范围为14~225 kg/hm²。

2.2 我国荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷质量分数回归方程

如式(3)和图1所示,荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷质量分数回归方程达到了极显著水平。

$$y = 10.352 \ln x + 58.085 \quad (r = 0.6409, n = 45, P < 0.01) \quad (3)$$

式中: y 为缺磷处理相对产量(38.79%~94.79%); x 为土壤有效磷质量分数(1.3~25.8 mg/kg)。

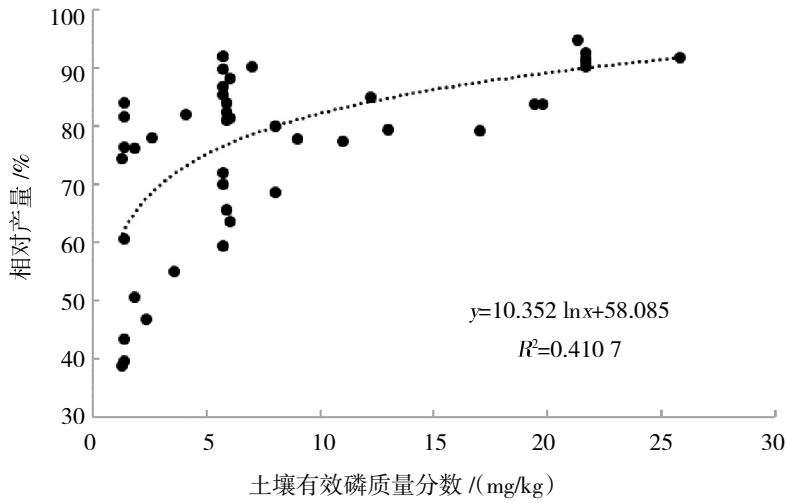


图1 我国荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷质量分数回归关系

2.3 我国荞麦土壤有效磷丰缺指标

我国荞麦缺磷处理相对产量 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、95% 和 100% 所对应的土壤有效磷质量分数依次为 0.01、0.03、0.07、0.17、0.46、1.20、3.20、8.30、21.80、35.40、57.30 mg/kg。表 1 为适当取舍外推数据后所得我国荞麦土壤有效磷丰缺指标。

2.4 我国荞麦适宜施磷量

表 2 为我国荞麦适宜施磷量。目标产量 0.90 ~

3.75 t/hm²、磷肥利用率 15% ~ 35%、土壤有效磷丰缺级别 1—7 级时,第 1—7 级土壤的适宜施磷量分别为 0、4 ~ 38、8 ~ 75、12 ~ 113、15 ~ 150、19 ~ 188、23 ~ 225 kg/hm²; 磷肥利用率 35%、30%、25%、20% 和 15% 的适宜施磷量范围依次为 0 ~ 96、0 ~ 113、0 ~ 135、0 ~ 169、0 ~ 225 kg/hm²; 目标产量 0.90、1.50、2.25、3.00、3.75 t/hm² 的适宜施磷量范围分别为 0 ~ 54、0 ~ 90、0 ~ 135、0 ~ 180、0 ~ 225 kg/hm²。

表 1 我国荞麦土壤有效磷丰缺指标

级别 / 级(相对产量 /%)	7(≤50)	6(>50 ~ 60)	5(>60 ~ 70)	4(>70 ~ 80)	3(>80 ~ 90)	2(>90 ~ 100)	1(>100)
土壤有效磷质量分数 / (mg/kg)	≤ <u>0.5</u>	> <u>0.5</u> ~ <u>1.2</u>	> <u>1.2</u> ~ 3.5	>3.5 ~ 8.5	>8.5 ~ 22.0	>22.0 ~ <u>58.0</u>	> <u>58.0</u>

注:带下划线者为外推数据。

表 2 我国荞麦若干目标产量和肥料利用率情形下不同丰缺级别土壤的适宜施磷量

目标产量 / (t/hm ²)	磷肥利用率 /%	施磷量(P ₂ O ₅)/(kg/hm ²)						
		第 7 级	第 6 级	第 5 级	第 4 级	第 3 级	第 2 级	第 1 级
0.90	35	23	19	15	12	8	4	0
	30	27	23	18	14	9	5	0
	25	32	27	22	16	11	6	0
	20	41	34	27	20	14	7	0
	15	54	45	36	27	18	9	0
1.50	35	39	32	26	19	13	7	0
	30	45	38	30	23	15	8	0
	25	54	45	36	27	18	9	0
	20	68	56	45	34	23	11	0
	15	90	75	60	45	30	15	0

(续表)

目标产量 / (t/hm ²)	磷肥利用率 /%	施磷量(P ₂ O ₅)/(kg/hm ²)						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
2.25	35	58	48	39	29	19	10	0
	30	68	56	45	34	23	11	0
	25	81	68	54	41	27	14	0
	20	101	84	68	51	34	17	0
	15	135	113	90	68	45	23	0
3.00	35	77	64	51	39	26	13	0
	30	90	75	60	45	30	15	0
	25	108	90	72	54	36	18	0
	20	135	113	90	68	45	23	0
	15	180	150	120	90	60	30	0
3.75	35	96	80	64	48	32	16	0
	30	113	94	75	56	38	19	0
	25	135	113	90	68	45	23	0
	20	169	141	113	84	56	28	0
	15	225	188	150	113	75	38	0

3 讨论

3.1 文献选取和数据剔除

采用“零散实验数据整合法”建立荞麦缺素处理相对产量与土壤养分质量分数回归方程,首要问题是如何进行文献选取和数据剔除。澳大利亚对于文献选取的做法主要是对试验研究进行评估分级^[53-55]。本研究未对文献进行分类和分级,既不管研究目的是什么,也无论采用何种研究方法——如盆栽和池栽,所有文献一律采用,但在进行回归分析时,剔除少量严重偏离群体的数据,保证了回归方程样本数量最大化。

3.2 回归方程样本数量

土壤养分丰缺指标法创始人 Bray^[8]和我国植物营养学家^[2-7],皆认为建立作物缺素处理相对产量与土壤养分质量分数回归方程时,样本数量宜为20个以上。澳大利亚规定样本数量不宜少于8个^[53-55]。本研究所得回归方程的样本数量为45,满足基本要求,但不是很多,散点图略显单薄,因此建议业界人士大力开展含有缺磷处理的荞麦施磷试验研究。

3.3 回归方程相关系数和决定系数

相关系数和决定系数越高,回归方程越完美。田间试验不可控因素较多,通常相关系数和决定系

数远低于室内研究。澳大利亚规定,土壤养分含量与作物缺素处理相对产量回归方程的相关系数应 ≥ 0.2 ,实践中通常为0.25~0.70,决定系数则在0.5以下^[53-55]。本研究所得回归方程的相关系数为0.6409,决定系数为0.4107,相对而言比较理想。

3.4 我国荞麦土壤有效磷丰缺指标

我国三大作物^[56-58]、杂粮^[19-20,22,59]、瓜果^[16,21]、糖料^[14-15]、棉花^[17]和苜蓿^[18]缺磷处理相对产量90%所对应的土壤有效磷指标为12~35 mg/kg,本文荞麦的研究结果为22 mg/kg,处于中间位置,较为可信。

3.5 我国荞麦适宜施磷量

本研究引用的荞麦施磷试验的施磷量为14~225 kg/hm²^[24,27-52]。本研究结果为:当目标产量0.90~3.75 t/hm²、磷肥利用率15%~35%时,第1—7级土壤的适宜施磷量分别为0.4~38、8~75、12~113、15~150、19~188、23~225 kg/hm²。本研究结果十分接近于众位专家学者所采用的施磷量。

4 结论

我国荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷质量分数的回归方程为: $y = 10.352 \ln x + 58.085$ 。我国荞麦土壤有效磷第1—7级指标依次为>58.0、

> 22.0 ~ 58.0、> 8.5 ~ 22.0、> 3.5 ~ 8.5、> 1.2 ~ 3.5、> 0.5 ~ 1.2、 ≤ 0.5 mg/kg。当目标产量 0.90 ~ 3.75 t/hm²、磷肥利用率 15% ~ 35%、土壤有效磷丰缺级别 1—7 级时,第 1—7 级土壤的适宜施磷量分别为 0、4 ~ 38、8 ~ 75、12 ~ 113、15 ~ 150、19 ~ 188、23 ~ 225 kg/hm²; 磷肥利用率 35%、30%、25%、20% 和 15% 的适宜施磷量范围依次为 0 ~ 96、0 ~ 113、0 ~ 135、0 ~ 169、0 ~ 225 kg/hm²; 目标产量 0.90、1.50、2.25、3.00、3.75 t/hm² 的适宜施磷量范围分别为 0 ~ 54、0 ~ 90、0 ~ 135、0 ~ 180、0 ~ 225 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 郝慧玲,陈泓旭,叶雪玲,等. 我国荞麦产业发展现状与对策浅析[J]. 四川农业科技,2023(2):12-15,23.
- [2] 周鸣铮. 土壤肥力测定与测土施肥[M]. 北京:农业出版社,1988.
- [3] 黄德明. 作物营养和科学施肥[M]. 北京:农业出版社,1993.
- [4] 金耀青,张中原. 配方施肥方法及其应用[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1993.
- [5] 张福锁,江荣风,陈新平,等. 测土配方施肥技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,2011.
- [6] 孙洪仁,刘文清,朱伟军. 苜蓿种植技术[M]. 北京:中国林业出版社,2020.
- [7] 谭金芳,韩燕来. 作物施肥原理与技术[M]. 3 版. 北京:中国农业大学出版社,2021.
- [8] BRAY R H. Soil-plant relations: I. the quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions[J]. Soil Science,1944,58:305-324.
- [9] 周鸣铮. 中国的测土施肥[J]. 土壤通报,1987(1):7-13.
- [10] 黄德明. 我国农田土壤养分肥力状况及丰缺指标[J]. 华北农学报,1988,3(2):46-53.
- [11] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. 测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案[J]. 黑龙江畜牧兽医(上半月),2014(10):1-5.
- [12] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. “养分平衡—地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式[J]. 黑龙江畜牧兽医(上半月),2014(4):1-4.
- [13] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. 测土施肥不同丰缺级别土壤的适宜施肥量[J]. 黑龙江畜牧兽医(上半月),2014(12):7-11.
- [14] 孙洪仁,张吉萍,吕玉才,等. 中国北方甜菜土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量初步研究[J]. 中国糖料,2019,41(1):23-27.
- [15] 钟培阁,孙洪仁,张吉萍,等. 中国南方甘蔗土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量初步研究[J]. 中国糖料,2021,43(1):51-56.
- [16] 王彦,朱凯迪,孙洪仁,等. 中国苹果土壤养分丰缺指标与适宜施肥量初步研究[J]. 中国农学通报,2022,38(5):69-78.
- [17] 吕志伟,孙洪仁,张吉萍,等. 中国棉花土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量研究[J]. 中国土壤与肥料,2022(2):197-206.
- [18] 孙洪仁,王显国,卜耀军,等. 我国紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量[J]. 中国农业大学学报,2022,27(5):199-215.
- [19] 朱凯迪,孙洪仁,张吉萍,等. 我国籽实和饲草谷子土壤有效磷丰缺指标和推荐施磷量[J]. 中国土壤与肥料,2023(3):73-81.
- [20] 孙洪仁,杨小可悦,王显国,等. 我国籽实和饲草大麦土壤有效磷丰缺指标和推荐施磷量[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2024,50(1):1-8.
- [21] 陈吕彦焯,孙洪仁,张吉萍,等. 我国西瓜土壤有效磷丰缺指标和推荐施磷量研究[J]. 蔬菜,2024(1):27-34.
- [22] 孙洪仁,王显国,张运龙,等. 我国籽实和饲草燕麦土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量初步研究[J]. 中国奶牛,2024(4):59-65.
- [23] 戴庆林,任树华,刘基业,等. 半干旱地区荞麦吸肥规律的初步研究[J]. 北方农业学报,1988(3):11-13,18.
- [24] 王志远,毛丛义. 对荞麦养分吸收及平衡施肥的初探[J]. 青海农技推广,2001(3):58-60.
- [25] 张福锁,陈新平,陈清,等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社,2009.
- [26] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 2 版. 北京:中国农业大学出版社,2011.
- [27] 安玉麟,刘安林,范计珍,等. 氮磷配合施用对荞麦产量和蛋白质含量的影响[J]. 内蒙古农业科技,1989(5):25-26.
- [28] 王永亮,刘基业,戴庆林. 荞麦植株氮磷含量与施肥指标的研究[J]. 华北农学报,1992,7(2):71-76.
- [29] 杜守宇,田恩平,吕廷会. 荞麦密肥效应函数模型的研究[J]. 甘肃农业科技,1993(3):26-28.
- [30] 马尚明,刘东海. 荞麦施用氮磷化肥的效益[J]. 耕作与栽培,1994(5):41-42,48.
- [31] 尹迪信,唐华彬,罗红军,等. 贵州野生牧草“金荞麦”平衡施肥试验研究[J]. 土壤通报,2006,37(6):1152-1155.
- [32] 马宁,刘杰英,贾瑞琳,等. 甘肃中部半干旱雨养生态区甜荞施肥优化数学模型研究[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(6):108-111.
- [33] 李桂强,何平,张春平,等. 药用金荞麦“3414”施肥效应研究[J]. 中药材,2011,34(2):171-175.
- [34] 刘纲,熊仿秋,钟林,等. 苦荞麦氮磷钾“3414”肥料效应试验初报[J]. 农业科技通讯,2012(5):94-97.
- [35] 陈磊庆. 氮磷配施对阴山北麓旱作荞麦产量和品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 宋毓雪,陈小娥,魏让,等. 不同肥料配比对甜荞产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(3):49-53.

- [39] 宋毓雪,郭肖,杨龙云,等. 不同氮磷钾肥料处理对苦荞籽粒充实度及产量的影响[J]. 浙江农业学报,2014,26(6):1568–1572.
- [40] 汪灿,胡海,杨浩,等. 播种量和施肥水平对西荞2号春播光合速率及产量的影响[J]. 种子,2014,33(8):88–92.
- [41] 向达兵,杨玲玲,李静,等. 施肥对苦荞麦产量、经济效益及肥效的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(4):83–87.
- [42] 艾蓉,邓蓉,王安娜. 氮磷钾配施对黔金荞麦1号块茎产量影响[J]. 贵州畜牧兽医,2015,39(5):63–64.
- [43] 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.
- [44] 王雨,赵权,孔德章,等. 化学肥料调控对连作甜荞生长的影响[J]. 广东农业科学,2018,45(4):87–93.
- [45] 张伟丽,白文琴,白文明,等. 氮磷钾对苦荞主要农艺性状、产量及干物质积累与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(2):105–113.
- [46] 杨春婷. 苦荞耐低磷基因型筛选及其适应机制的研究[D]. 临汾:山西师范大学,2019.
- [47] 王炎. 不同耕作方式及施肥量对甜荞产量的影响[D]. 贵阳:贵州师范大学,2019.
- [48] 张伟丽. 氮磷钾素对苦荞产量性状及其淀粉理化特性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [49] 吴康红. 硅磷配施对甜荞倒伏性能及产量的影响[D]. 重庆:西南大学,2020.
- [50] 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.
- [51] 李振东. 栽培措施对不施氮处理下苦荞生长及产量的影响[D]. 贵阳:贵州师范大学,2022.
- [52] 纪志超,王欣欣,王连会,等. 荞麦—大豆轮作条件下不同配比N、P、K肥对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 作物研究,2023,37(3):213–217,258.
- [53] SPEIRS S D,REUTER D J,PEVERILL K I,et al. Making better fertiliser decisions for cropping systems in Australia:an overview[J]. Crop and Pasture Science,2013,64(5):417–423.
- [54] WATMUFF G,REUTER D J,SPEIRS S D. Methodologies for assembling and interrogating N, P, K, and S soil test calibrations for Australian cereal, oilseed and pulse crops[J]. Crop and Pasture Science,2013,64(5):424–434.
- [55] DYSON C B,CONYERS M K. Methodology for online biometric analysis of soil test–crop response datasets[J]. Crop and Pasture Science,2013,64(5):435–441.
- [56] 孙洪仁,赵雅晴,曾红,等. 中国若干区域玉米土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量[J]. 中国土壤与肥料,2017(2):26–34.
- [57] 孙洪仁,张吉萍,江丽华,等. 中国小麦土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量研究[J]. 中国农学通报,2019,35(21):30–37.
- [58] 孙洪仁,张吉萍,江丽华,等. 我国水稻土壤有效磷和速效钾丰缺指标与适宜磷钾施用量研究[J]. 中国稻米,2018,24(5):1–10.
- [59] 孙洪仁,江丽华,张吉萍,等. 中国马铃薯土壤氮磷钾丰缺指标与适宜施磷量[J]. 中国农学通报,2020,36(5):78–85.

Abundance–deficiency Index of Soil Available Phosphorus and Modeling of Appropriate Phosphorus Fertilizer Application Rates for Buckwheat in China

GUO Binglin¹, SUN Hongren¹, WANG Xianguo¹, ZHANG Yunlong¹, WANG Zhenguo², Baiyilatu², ZHANG Guihua², WEN Feng², JIN Xiaoguang², BAO Xuelian², LIU Weichun³

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Science Research Institute, Tongliao 028015, China; 3. Hure Banner Agricultural Technology Promotion Center, Hure 028200, China)

Abstract: In order to establish a recommended P application system based on soil testing in China, a new study method for crop fertilizer recommendation based on abundance-deficiency index (ADI) of soil nutrients was used to study the ADI of soil available P (SAP) and appropriate P application rates (APAR) for buckwheat in China. The results showed that the concentration of SAP and the relative yield of buckwheat without P fertilizer treatment in China was $y = 10.352 \ln x + 58.085$. The ADI of SAP for buckwheat in China for the 1st to 7th level were > 58 , $> 22 \sim 58$, $> 8.5 \sim 22$, $> 3.5 \sim 8.5$, $> 1.2 \sim 3.5$, $> 0.5 \sim 1.2$ and ≤ 0.5 mg/kg, respectively. When the target yield (TY) of buckwheat was 0.9–3.75 t/hm², the P fertilizer use efficiency (PFUE) was 15%–35%, and the SAP abundance-deficiency level (ADL) was from 1st to 7th, the APAR for ADL from 1st to 7th were 0, 4–38, 8–75, 12–113, 15–150, 19–188 and 23–225 kg/hm², respectively. The APAR for PFUE of 35%, 30%, 25%, 20% and 15% were 0–96, 0–113, 0–135, 0–169 and 0–225 kg/hm², respectively. The APAR for TY of 0.90, 1.50, 2.25, 3.00 and 3.75 t/hm² were 0–54, 0–90, 0–135, 0–180 and 0–225 kg/hm², respectively.

Key Words: China; Buckwheat; Soil testing and fertilizer recommendation; Available phosphorus; Abundance-deficiency index; Fertilizer application rate