

doi:10.11920/xnmdzk.2025.04.001

我国荞麦测土推荐施氮指标体系的建立

孙洪仁¹,金晓光²,柳妍娣²,齐金全²,文峰²,包雪莲²,冯文军³,张运龙¹,王显国¹

(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. 通辽市国有胜利农场,内蒙古 通辽 028113)

摘要:为了给荞麦测土施氮提供科学依据,采用作物测土推荐施肥系统研究新方法,开展了我国荞麦的土壤氮素丰缺指标和适宜施氮量研究.结果表明,我国荞麦缺氮处理相对产量与土壤碱解氮、土壤全氮和土壤有机质含量回归方程分别为: $y=17.255 \ln(x)-1.8202$ 、 $y=16.57 \ln(x)+76.17$ 、 $y=18.117 \ln(x)+26.022$.我国荞麦土壤碱解氮的第1至第8级丰缺指标依次是 ≥ 366 、205~366、115~205、65~115、36~65、21~36、12~21和 <12 mg/kg,土壤全氮的第1至第8级丰缺指标依次是 ≥ 4.3 、2.4~4.3、1.3~2.4、0.7~1.3、0.4~0.7、0.25~0.4、0.15~0.25和 <0.15 g/kg,土壤有机质的第1至第8级丰缺指标依次是 ≥ 60 、35~60、20~35、12~20、7~12、4~7、2.5~4和 <2.5 g/kg.当荞麦目标产量设定为0.9~3.75 t/hm²、氮肥利用率设定为30%~50%、土壤氮素丰缺级别设定为第1至第8级时,第1至第8级土壤适宜施氮量范围分别为0、6~44、13~88、19~131、25~175、32~219、38~263和44~306 kg/hm²;氮肥利用率50%、45%、40%、35%和30%的适宜施氮量范围依次为0~184、0~204、0~230、0~263和0~306 kg/hm²;目标产量0.9、1.5、2.25、3.0和3.75 t/hm²的适宜施氮量范围分别为0~74、0~123、0~184、0~245和0~306 kg/hm².本研究建立了我国荞麦基于土壤氮素丰缺指标的测土推荐施氮系统,为我国荞麦测土施氮提供了科学依据.

关键词:荞麦;测土施肥;碱解氮;全氮;有机质;丰缺指标;施肥量

中图分类号:S153.6;S519

文献标志码:A

文章编号:2095-4271(2025)04-0355-07

Establishment of soil testing and N fertilizer recommendation index system for buckwheat in China

SUN Hongren¹, JIN Xiaoguang², LIU Yandi², QI Jinquan², WEN Feng², BAO Xuelian²,

FENG Wenjun³, ZHANG Yunlong¹, WANG Xianguo¹

(1. School of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Science Research Institute, Tongliao 028015, China; 3. Tongliao State-owned Shengli Farm, Tongliao 028113, China)

Abstract: In order to provide scientific basis for soil testing and N application of buckwheat in China, a new research method of crop soil testing and fertilizer recommendation system was adopted to conduct a study on the abundance-deficiency index (ADI) of soil nitrogen and the appropriate N application rates (ANAR) for buckwheat in China. The results showed that regression equation concerning the relative yield of buckwheat without N fertilizer treatment and the content of soil alkaline hydrolysis nitrogen (SAHN), soil total nitrogen (STN), and soil organic matter (SOM) in China were: $y=17.255 \ln(x)-1.8202$, $y=16.57 \ln(x)+76.17$, $y=18.117 \ln(x)+26.022$, respectively. The ADI of SAHN for buckwheat in China for the 1st to 8th levels were ≥ 366 , 205-366, 115-205, 65-115, 36-65, 21-36, 12-21 and <12 mg/kg, respectively. The ADI of STN for buckwheat in China for the 1st to 8th levels were ≥ 4.3 , 2.4-4.3, 1.3-2.4, 0.7-1.3, 0.4-0.7, 0.25-0.4, 0.15-0.25 and <0.15 g/kg, respectively. The ADI of SOM for

收稿日期:2025-03-21

作者简介:孙洪仁(1965-),男,副教授,硕士,研究方向:饲草栽培和作物测土推荐施肥研究.E-mail:sunhongren@cau.edu.cn

通信作者:张运龙(1988-),男,副教授,博士,研究方向:牧草栽培管理研究.E-mail:yunlongzhang@cau.edu.cn;王显国(1974-),男,教授,博士,研究方向:牧草栽培研究.E-mail:grasschina@126.com

基金项目:国家现代牧草产业技术体系(CARS-34)

the 1st to 8th levels were $\geq 60, 35-60, 20-35, 12-20, 7-12, 4-7, 2.5-4$ and < 2.5 g/kg, respectively. When the target yield of buckwheat was 0.9-3.75 t/hm², the nitrogen fertilizer use efficiency (NFUE) was 30%-50%, and the soil N abundance-deficiency levels (ADL) were from 1st to 8th, the ANARs for ADL from 1st to 8th were 0, 6-44, 13-88, 19-131, 25-175, 32-219, 38-263 and 44-306 kg/hm², respectively. The ANARs for NFUE of 50%, 45%, 40%, 35% and 30% were 0-184, 0-204, 0-230, 0-263 and 0-306 kg/hm², respectively. The ANARs for target yield of 0.9, 1.5, 2.25, 3.0 and 3.75 t/hm² were 0-74, 0-123, 0-184, 0-245 and 0-306 kg/hm², respectively. In conclusion, this study established a recommended N application system based on ADI of soil nitrogen for buckwheat in China, providing a scientific basis for soil testing and N fertilizer recommendation of buckwheat in China.

Keywords: buckwheat; soil testing and fertilizer recommendation; alkaline hydrolysis nitrogen; total nitrogen; organic matter; abundance-deficiency index; fertilizer application rate

荞麦起源于我国,乃重要药食同源杂粮作物,甜荞 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 和苦荞 (*Fagopyrum tataricum* Gaertn) 为两个主要栽培种。我国荞麦种植面积位居世界第二,仅次于俄罗斯,60 余万公顷,年产 50 万余吨^[1]。科学施肥是荞麦获得高产、优质的前提,实现高效、可持续发展的基础。土壤养分丰缺指标法^[2-3]是测土推荐施肥的基本方法,因其拥有时间有效性长、地域有效性广、简便易行等三大优势,世界各国广为应用。我国于 20 世纪 80 年代开始作物土壤养分丰缺指标研究^[4-5],一些重要作物的测土推荐施肥系统陆续建立起来^[6-9]。而关于荞麦土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究则既少且迟,至今仅见 2 篇^[10-11]。这两篇文献建立了我国荞麦缺磷处理相对产量与土壤有效磷含量回归方程、缺钾处理相对产量与土壤速效钾和全钾含量回归方程,初步确立了我国荞麦土壤有效磷、速效钾和全钾丰缺指标,确定了若干目标产量和肥料利用率下不同丰缺级别土壤的适宜磷钾施用量^[10-11]。氮与磷钾并称植物营养三要素,亦为土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究之重点所在。然而,时至今日,尚未见到关于我国荞麦土壤氮素丰缺指标和适宜施氮量的研究报道。21 世纪 10 年代,中国农业大学孙洪仁团队创建了作物测土推荐施肥系统研究新方法^[12-14],并采用该方法成功建立了我国甜菜 (*Beta vulgaris* L.)^[15]、甘蔗 (*Saccharum officinarum* L.)^[16]、苹果 (*Malus pumila* Mill.)^[17]、苜蓿 (*Medicago sativa* L.)^[18]、谷子 (*Setaria italica* (L.) Beauv.)^[19]、桃 (*Prunus persica* (L.) Batsch)^[20]、大麦 (*Hordeum vulgare* L.)^[21]、燕麦 (*Avena sativa* L.)^[22]、西瓜 (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai)^[23] 和葡萄 (*Vitis vinifera* L.)^[24] 等作物的测土推荐施肥指标体系。本研究拟

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我国荞麦土壤氮素丰缺指标和适宜施氮量研究,旨在建立我国荞麦土壤氮素丰缺指标推荐施肥系统,以期为我国荞麦测土施氮提供依据。

1 材料与方 法

1.1 荞麦缺氮处理相对产量与土壤氮素含量回归方程的建立

采用“零散实验数据整合法”^[12-14,25]建立回归方程。具体做法如下:(1)利用中国知网数据库资源,以“荞麦”、“施肥”和“氮”等为主题词,广泛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开展的具有土壤氮素含量和缺氮处理的零散施氮实验文献;(2)人工提取文献之中的施氮处理和缺氮处理产量、土壤氮素含量数据;(3)采用式(1)计算荞麦缺氮处理相对产量;(4)分别建立荞麦缺氮处理相对产量与土壤碱解氮、全氮和有机质含量回归方程。

$$R_{-N} = Y_{-N} \div Y_N \times \% \quad (1)$$

式中: R_{-N} 为缺氮处理相对产量,无量纲; Y_{-N} 和 Y_N 分别为缺氮处理产量和施氮处理产量,t/hm²。

搜集到符合要求的荞麦施氮试验文献总计 56 篇^[26-81]。其中 1980—1989 年 1 篇^[26]、1990—1999 年 4 篇^[27-30]、2000—2009 年 5 篇^[31-35]、2010—2019 年 32 篇^[36-67]、2020—2024 年 14 篇^[68-81];盆栽试验 3 篇^[33-34,58]、池栽试验 4 篇^[62,66,70,73],余者均为田间实验。上述 56 篇文献涉及 30 余个旗县市区、近 20 个土壤类型、60 个品种。施氮量介于 21~240 kg/hm²之间。

1.2 荞麦土壤氮素丰缺分级

参考“土壤养分丰缺分级改良方案”^[12,25]对我国荞麦土壤氮素含量进行分级。

1.3 荞麦不同氮素丰缺级别土壤适宜施氮量的确定

利用“养分平衡-地力差减法新应用公式”^[13-14,25] (式(2)),计算我国荞麦不同氮素丰缺级别土壤的适宜施氮量.

$$F_N = Y_l \times N_u \times (1 - R_N) \div E_N, \quad (2)$$

式中: F_N 、 Y_l 和 N_u 分别为适宜施氮量、目标产量和单位经济产量吸收氮素量,单位分别为 kg/hm^2 、 t/hm^2 和 kg/t ; R_N 和 E_N 分别为缺氮处理相对产量和氮素利用率,二者皆无量纲.

依据我国荞麦生产实际状况,确定 5 个目标产量——0.9、1.5、2.25、3.0 和 3.75 t/hm^2 .氮肥当季利用率高者可达 50%以上,而低者不到 30%.依据我国荞麦的施肥实践,确定 30%、35%、40%、45% 和 50% 等 5 个氮肥当季利用率.以文献[31,82-85]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吸收氮素量(N)为 35 kg/t .这 5 个荞麦目标产量吸收氮素量依次为 31.5、52.5、78.75、105 和 131.25 kg/hm^2 .

2 结果与分析

2.1 我国荞麦缺氮处理相对产量与土壤氮素含量回

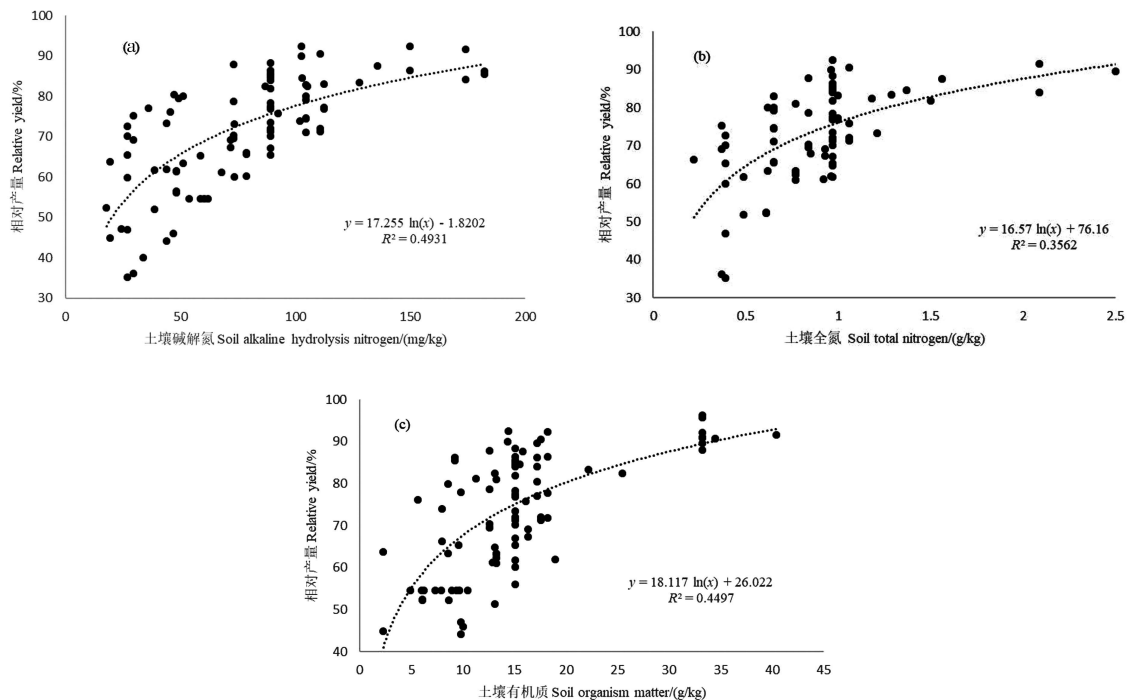


图 1 我国荞麦缺氮处理相对产量与土壤碱解氮(a)、全氮(b)和有机质(c)含量之间的回归关系

Fig.1 Regression relationship between the relative yield without N fertilization and soil alkaline hydrolysis nitrogen(a), total nitrogen(b) and organism matter(c) for buckwheat in China

归方程

剔除部分明显偏离群体和不合理数据后,建立我国土壤碱解氮、全氮和有机质含量与荞麦缺氮处理相对产量回归方程,见式(3)~(5)和图 1.三个回归方程均为自然对数相关,皆达到了极显著水平.土壤碱解氮含量与缺氮处理相对产量散点图的数据点分布相对较为均匀,而土壤全氮含量 1.5 g/kg 以上数据颇少,有机质含量 20 g/kg 以上亦较少(图 1).

$$Y = 17.255 \ln(x_{\text{AHN}}) - 1.8202 \quad (r = 0.7022, n = 98, P < 0.01), \quad (3)$$

$$Y = 16.57 \ln(x_{\text{TN}}) + 76.16 \quad (r = 0.5968, n = 80, P < 0.01), \quad (4)$$

$$Y = 18.117 \ln(x_{\text{OM}}) + 26.022 \quad (r = 0.6706, n = 96, P < 0.01), \quad (5)$$

式中: y 为缺氮处理相对产量,%; x_{AHN} 、 x_{TN} 和 x_{OM} 分别为土壤碱解氮、全氮和有机质含量,单位分别为 mg/kg 、 g/kg 和 g/kg .式(3)中, y 数据范围为 35.19%~92.44%, x_{AHN} 范围为 17.8~182.2 mg/kg .式(4)中, y 数据范围为 35.19%~92.44%, x_{TN} 范围为 0.22~2.5 g/kg .式(5)中, y 数据范围为 44.18%~96.21%, x_{OM} 范围为 2.3~40.4 g/kg .

2.2 我国荞麦土壤氮素丰缺指标

借助式(3)~(5)计算出缺氮处理相对产量 100%、95%、90%、80%……30%、20%和 10%对应的土壤碱解氮含量依次为 365.4、273.5、204.7、114.6、64.2、36.0、20.2、11.3、6.3、3.5 和 2.0 mg/kg,土壤全氮含量依次为 4.22、3.12、2.31、1.26、0.69、0.38、0.21、

0.11、0.06、0.03 和 0.02 g/kg,土壤有机质含量依次为 59.3、45.0、34.2、19.7、11.3、6.5、3.8、2.2、1.3、0.7 和 0.4 g/kg.将部分外推数据舍弃后,得到我国荞麦土壤碱解氮、全氮和有机质含量的丰缺指标(表 1).其中,第 1 和 8 级丰缺指标皆为外推数据,目前生产实践中极少出现.

表 1 我国荞麦土壤氮素丰缺指标

Table 1 The abundance-deficiency index of soil nitrogen for buckwheat in China

级别(相对产量)/%	碱解氮/(mg/kg)	全氮/(g/kg)	有机质/(g/kg)
8(<40)	<12	<0.15	<2.5
7(40~50)	12~21	0.15~0.25	2.5~4.0
6(50~60)	21~36	0.25~0.40	4.0~7.0
5(60~70)	36~65	0.40~0.70	7.0~12.0
4(70~80)	65~115	0.70~1.30	12.0~20.0
3(80~90)	115~205	1.30~2.40	20.0~35.0
2(90~100)	205~366	2.40~4.30	35.0~60.0
1(≥100)	≥366	≥4.30	≥60.0

注:带下划线者为外推数据.

2.3 我国荞麦适宜施氮量

我国荞麦适宜施氮量见表 2.土壤氮素丰缺级别越低,荞麦的适宜施氮量越高.目标产量 0.9~3.75 t/hm²、氮肥利用率 30%~50%时,第 1 至第 8 级土壤的适宜施氮量依次为 0、6~44、13~88、19~131、25~175、32~219、38~263 和 44~306 kg/hm².氮肥当季利用率越高,荞麦的适宜施氮量越低.目标产量 0.9~3.75 t·hm⁻²、土壤氮素丰缺级别 1~8 级时,氮肥利

用率 50%、45%、40%、35%和 30%的适宜施氮量范围依次为 0~184、0~204、0~230、0~263 和 0~306 kg/hm².目标产量越高,荞麦的适宜施氮量越高.氮肥利用率 30%~50%、土壤氮素丰缺级别 1~8 级时,目标产量 0.9、1.5、2.25、3.0 和 3.75 t/hm²的适宜施氮量范围分别为 0~74、0~123、0~184、0~245 和 0~306 kg/hm².

表 2 我国荞麦之不同丰缺级别土壤的适宜施氮量

Table 2 Appropriate N application rate of different abundance-deficiency level soils for buckwheat in China

目标产量/(t/hm ²)	氮肥利用率/%	适宜施氮量/(N,kg/hm ²)							
		≥8	7	6	5	4	3	2	1
0.9	50	≥44	38	32	25	19	13	6	0
	45	≥49	42	35	28	21	14	7	0
	40	≥55	47	39	32	24	16	8	0
	35	≥63	54	45	36	27	18	9	0
	30	≥74	63	53	42	32	21	11	0
1.5	50	≥74	63	53	42	32	21	11	0
	45	≥82	70	58	47	35	23	12	0
	40	≥92	79	66	53	40	26	13	0
	35	≥105	90	75	60	45	30	15	0
	30	≥123	105	88	70	53	35	18	0

(续表2)

目标产量/(t/hm ²)	氮肥利用率/%	适宜施氮量/(N,kg/hm ²)							
		≥8	7	6	5	4	3	2	1
2.25	50	≥110	95	79	63	47	32	16	0
	45	≥123	105	88	70	53	35	18	0
	40	≥138	118	98	79	59	39	20	0
	35	≥158	135	113	90	68	45	23	0
	30	≥184	158	131	105	79	53	26	0
3.0	50	≥147	126	105	84	63	42	21	0
	45	≥163	140	117	93	70	47	23	0
	40	≥184	158	131	105	79	53	26	0
	35	≥210	180	150	120	90	60	30	0
	30	≥245	210	175	140	105	70	35	0
3.75	50	≥184	158	131	105	79	53	26	0
	45	≥204	175	146	117	88	58	29	0
	40	≥230	197	164	131	98	66	33	0
	35	≥263	225	188	150	113	75	38	0
	30	≥306	263	219	175	131	88	44	0

注:项目栏 8~1 表示土壤氮素丰缺级别.

3 讨论

3.1 我国荞麦土壤碱解氮丰缺指标

我国甜菜^[15]、苜蓿^[18]、谷子^[19]、桃^[20]、大麦^[21]、燕麦^[22]、西瓜^[23]和葡萄^[24]与缺氮处理相对产量 90% 相对应之土壤碱解氮指标分别为 115、55、128、125、245、219、189 和 158 mg/kg, 100% 相应指标依次为 429、73、247、206、300、389、298 和 288 mg/kg. 本荞麦缺氮处理相对产量 90% 和 100% 对应之土壤碱解氮指标研究结果分别为 205 和 366 mg/kg, 介于上述作物之间, 亦未超出玉米^[6]、小麦^[7]、水稻^[8] 和马铃薯^[9] 等作物之诸多区域研究结果范围, 可以采信.

3.2 我国荞麦土壤全氮丰缺指标

我国甘蔗^[16]、苹果^[17]、苜蓿^[18]、谷子^[19]、大麦^[21]、燕麦^[22]和西瓜^[23]缺氮处理相对产量 90% 对应的全氮指标依次为 2.0、1.4、1.1、1.7、3.1、2.8 和 3.5 g/kg, 100% 相应指标依次为 4.0、1.8、1.5、3.3、3.7、5.0 和 7.0 g/kg. 本荞麦缺氮处理相对产量 90% 和 100% 对应之全氮指标研究结果分别为 2.4 和 4.3 g/kg, 介于上述作物之间, 亦在玉米^[6]、小麦^[7]、水稻^[8] 和马铃薯^[9] 等作物之诸多区域研究结果范围之内, 较为可靠.

3.3 我国荞麦土壤有机质丰缺指标

张福锁等^[84]将缺氮处理相对产量 95% 对应的有

机质指标定为 20 g/kg, 本研究结果为 45 g/kg, 明显较其为高. 我国苜蓿^[18]、谷子^[19]、桃^[20]、大麦^[21]、燕麦^[22]、西瓜^[23]和葡萄^[24]缺氮处理相对产量 90% 对应的有机质指标依次为 13、34、32、53、39、32 和 36 g/kg, 100% 相应指标依次为 19、82、53、66、64、65 和 75 g/kg. 本荞麦缺氮处理相对产量 90% 和 100% 对应之有机质指标研究结果分别为 35 和 60 g/kg, 介于上述作物之间, 亦未超出玉米^[6]、小麦^[7]和 水稻^[8] 等作物之诸多区域研究结果范围, 较为可信.

3.4 我国荞麦适宜施氮量

张福锁等^[84]针对目标产量 0.75~4.5 t/hm² 荞麦的推荐施氮量为 0~135 kg/hm². 本研究引用的荞麦施氮实验^[26-81]的施氮量为 21~240 kg/hm². 本研究结果为: 当目标产量 0.9~3.75 t/hm²、氮肥利用率 30% 至 50% 时, 第 1 至第 8 级土壤的适宜施氮量分别为 0、6~44、13~88、19~131、25~175、32~219、38~263 和 44~306 kg/hm². 本适宜施氮量研究结果明显高于张福锁等^[84]的推荐施氮量; 若剔除目前生产实践中极少出现的第 1 和 8 级, 则与众位专家学者在荞麦施氮试验中采用的施氮量颇为接近, 可以认为本研究结果较为可靠.

4 结论

本研究建立了我国荞麦土壤氮素丰缺指标推荐

施肥系统,可为我国荞麦测土施氮提供科学依据.

参考文献

- [1] 严慧玲,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] 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.
- [3] BRAY R H. Soil-plant relations: II. Balanced fertilizer use through soil tests for potassium and phosphorus [J]. Soil Science, 1945, 60(6): 463-473.
- [4] 周鸣铮. 中国的测土施肥[J]. 土壤通报, 1987, 18(1): 7-13.
- [5] 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.
- [6] 孙洪仁, 曾红, 赵雅晴, 等. 中国玉米土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量[J]. 北方农业学报, 2017, 45(3): 40-49.
- [7] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国小麦土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 北方农业学报, 2018, 46(2): 41-46.
- [8] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国水稻土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量[J]. 中国农学通报, 2019, 35(11): 82-87.
- [9] 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肥量[J]. 中国农学通报, 2020, 36(5): 78-85.
- [10] 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]. 大麦与谷类科学, 2024, 41(4): 18-23.
- [11] 孙洪仁, 王显国, 张运龙, 等. 我国荞麦土壤钾素丰缺指标和适宜施钾量研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(11): 170-178.
- [12] 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, 2014(19): 1-5.
- [13] 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, 2014(7): 1-4.
- [14] 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, 2014(23): 7-11.
- [15] 孙洪仁, 张吉萍, 吕玉才, 等. 中国北方甜菜土壤碱解氮丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 中国糖料, 2019, 41(2): 14-17.
- [16] 钟培阁, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 中国南方甘蔗土壤全氮丰缺指标与适宜施氮量初步研究[J]. 中国糖料, 2020, 42(3): 43-48.
- [17] 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.
- [18] 孙洪仁, 王显国, 卜耀军, 等. 黄土高原紫花苜蓿土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量初步研究[J]. 草业学报, 2022, 31(4): 32-42.
- [19] 朱凯迪, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 我国籽实和饲草谷子土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量[J]. 草地学报, 2022, 30(8): 2207-2216.
- [20] 张明, 吕志伟, 孙洪仁, 等. 中国桃土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(14): 60-66.
- [21] 杨小可悦, 孙洪仁, 王显国, 等. 中国籽实和饲草大麦种植土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量[J]. 大麦与谷类科学, 2023, 40(5): 32-44.
- [22] 孙洪仁, 王显国, 张运龙, 等. 我国籽实和饲草燕麦土壤氮素丰缺指标与推荐施氮量研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2024, 50(3): 237-246.
- [23] 陈吕彦焯, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 我国西瓜土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究[J]. 中国果菜, 2024, 44(5): 59-67.
- [24] 孙洪仁, 朱凯迪, 王彦, 等. 我国葡萄土壤氮素丰缺指标和适宜施氮量初步研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(7): 58-67.
- [25] 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.
- [26] 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, 17(5): 25-26.
- [27] 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.
- [28] 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, 24(3): 26-28.
- [29] 马尚明, 刘东海. 荞麦施用氮磷化肥的效益[J]. 耕作与栽培, 1994, 14(5): 41-42+48.
- [30] 王永亮, 刘基业. 荞麦氮肥效应及测叶施氮调控技术的研究[J]. 土壤肥料, 1994(5): 42-44.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 臧小云. 氮素营养对荞麦生长及黄酮代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [34] 李佩芳, 蔡光泽, 华劲松, 等. 不同供氮水平对野生荞麦与栽培苦荞的表现型差异性比较[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1255-1261.
- [35] 梅艳, 阮培均, 王孝华, 等. 黔苦 2 号苦荞高产栽培数学模型研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(19): 7949-7951.
- [36] 马宁, 刘杰英, 贾瑞琳, 等. 甘肃中部半干旱雨养生态区甜荞麦施肥优化数学模型研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 108-111.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 邢凤丽. 栽培措施对荞麦结实率及产量和品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [41] 侯迷红, 范富, 宋桂云, 等. 氮肥用量对甜荞麦产量和氮素利用率的影响[J]. 作物杂志, 2013(1): 102-105.
- [42] 向达兵, 赵江林, 胡丽雪, 等. 施氮量对苦荞麦生长发育、产量及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(14): 57-59.
- [43] 刘纲, 熊仿秋, 钟林, 等. 高寒山区苦荞麦氮磷钾“3414”肥料效应

- 试验报告[J].农业科技通讯,2014(12):79-82+161.
- [44]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.
- [45]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.
- [46]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.
- [47]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.
- [48]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.
- [49]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.
- [50]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.
- [51]汪灿.荞麦茎秆特性与倒伏的关系及调控研究[D].重庆:西南大学,2015.
- [52]何远宽,赵维,马杰,等.菜用金荞麦高产栽培技术优化[J].贵州农业科学,2016,44(1):52-55.
- [53]常庆涛,刘荣甫,胡跃高,等.生物菌肥对荞麦生长发育和产量的影响[J].江苏农业科学,2016,44(4):161-162.
- [54]刘荣甫,常庆涛,马小凤,等.生物菌肥在春荞麦上的应用效果研究[J].农业科技通讯,2016(11):113-116.
- [55]白文琴.氮磷钾对苦荞物质积累及产量调控效应的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [56]侯迷红,范富,纪凤辉,等.氮肥用量对库伦旗荞麦干物质积累与分配的影响[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2017,32(1):65-69.
- [57]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.
- [58]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.
- [59]郝志萍,吕慧卿,高翔.生物菌肥促进荞麦生长发育和产量提高[J].农业工程技术,2018,38(26):10-11.
- [60]王雨.甜荞根系形态与产量的关系及肥料调控研究[D].贵阳:贵州师范大学,2018.
- [61]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.
- [62]罗庆华,李振宙,林俊清,等.氮肥用量对苦荞内源激素、产量和品质的影响[J].福建农业学报,2019,34(3):271-277.
- [63]马祥,魏小星,刘勇,等.施氮量对荞麦产量及品质的影响[J].中国农学通报,2019,35(25):16-20.
- [64]边巴卓玛,马瑞萍,卓玛.不同施氮量下生物菌肥对西藏荞麦生长和土壤养分的影响[J].中国农学通报,2019,35(32):79-83.
- [65]白文明.氮肥对甜荞产量与品质及籽粒淀粉合成关键酶活性的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [66]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.
- [67]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.
- [68]田再芳,靳建刚.不同施氮量对黑丰1号荞麦生长及产量的影响[J].农业科技通讯,2020(8):117-120.
- [69]夏美娟,白文明,黄启鹏,等.不同施氮水平对苦荞不同品种生长发育、干物质转运和产量的影响[J].广西植物,2020,40(6):823-835.
- [70]李振宙.不同耕作方式对苦荞产量形成的影响[D].贵阳:贵州师范大学,2020.
- [71]周良.干旱胁迫对苦荞产量形成和药理活性的影响[D].贵阳:贵州师范大学,2020.
- [72]张艳军,胡选江,刘佳,等.施氮量对烟后苦荞产量及植株养分吸收量的影响[J].中国农学通报,2021,37(7):19-23.
- [73]吴兴慧.不同栽培措施对苦荞早衰、灌浆特性和产量的影响[D].贵阳:贵州师范大学,2021.
- [74]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.
- [75]张广峰,陈喜明,韩云丽,等.增施氮肥对晋荞麦2号产量和品质的影响[J].黑龙江农业科学,2022(10):33-37.
- [76]马海墨.水氮调控对宁夏引黄灌区甜荞生长和土壤氮转化的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [77]郑媛元.氮对荞麦生长的影响及多光谱无人机近地遥感模型的初探[D].太原:山西农业大学,2022.
- [78]张余.荞麦弱勢粒形成的机理及调控技术研究[D].贵阳:贵州师范大学,2022.
- [79]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.
- [80]张广峰,陈喜明,韩云丽,等.不同供氮水平下晋荞麦3号的生长相关性分析[J].陕西农业科学,2023,69(4):10-14.
- [81]屈晶晶.施氮水平对荞麦间作马铃薯根际土壤环境、种薯产量和质量的影响[D].成都:四川农业大学,2024.
- [82]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].内蒙古农业科技,1988,16(3):11-13+18.
- [83]王美,李魁印,钱晓刚.贵州甜荞营养特征的初步研究[J].种子,2010,29(9):100-103.
- [84]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.
- [85]谭金芳,韩燕来.作物施肥原理与技术(3版)[M].北京:中国农业大学出版社,2021.

(责任编辑:和力新,殷锋,付强,张阳,肖丽;英文编辑:周序林,郑玉才)