

中国小麦土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究^①

孙洪仁¹, 张吉萍², 江丽华³, 吕玉才², 王应海⁴

(1 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2 北京六凯农业科技有限公司, 北京 100095;

3 北京薯网农业科学研究院, 北京 100043; 4 北京东方润泽生态科技股份有限公司, 北京 100086)

摘要: 系统总结我国开展的小麦土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究, 结果表明: 30 a 来我国小麦土壤速效钾丰缺指标明显提高; 不同区域之间小麦土壤速效钾丰缺指标差异颇大, 以缺钾处理相对产量 90% 指标为例, 土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量变动于 80 ~ 246 mg/kg; 除黄淮海平原、四川盆地、关中灌区和河套灌区外, 我国小麦土壤速效钾丰缺指标研究存在很多空白区域; 小麦土壤缺钾较为普遍, 第 2 ~ 4 级为土壤速效钾集中分布的丰缺级别, 缺钾处理相对产量大多处在 70% ~ 100%; 土壤养分丰缺指标研究的试验点数不宜过少, 丰缺指标高端和低端采用外推数据需谨慎, 并应予以注明; 适宜施钾量与土壤速效钾丰缺级别线性负相关, 与小麦目标产量线性正相关, 与钾肥当季利用率线性负相关; 当钾肥当季利用率 50%、目标产量 3.0 ~ 12 t/hm² 时, 土壤速效钾丰缺级别第 1 ~ 7 级的小麦适宜施钾量范围依次为 0、17 ~ 67、34 ~ 134、50 ~ 202、67 ~ 269、84 ~ 336 和 101 ~ 403 kg/hm²。

关键词: 测土施肥; 土壤速效钾; $\text{NH}_4\text{OAc-K}$; ASI-K; 养分丰缺指标; 肥力指标; 施钾量

中图分类号: S153.6; S519 文献标识码: A

我国小麦土壤速效钾丰缺指标研究始于 20 世纪 80 年代^[1-2], 但至今依然存在许多问题有待明确, 如建立了哪些区域的小麦土壤速效钾丰缺指标, 空白区域还有多少? 区域之间差异究竟有多大? 集中分布的丰缺级别为哪几级? 学者们采用不同方案进行丰缺分级, 如何比较? 部分研究仅建立了丰缺指标, 未给出施肥量^[1-11], 如何解决? 30 a 年来丰缺指标是否发生明显变化? 等等。本文对我国开展的小麦土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究进行了系统总结, 试图回答上述问题。

1 材料与方法

1.1 小麦土壤速效钾丰缺指标

利用数据库资源, 搜集我国小麦缺钾处理相对产量与土壤速效钾含量回归方程。参考测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案^[12]进行小麦土壤速效钾丰缺分级。对于超出试验范围之外推数据, 高端和低端各允许保留 1 个。

1.2 小麦适宜施钾量

采用“养分平衡-地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式^[13-14]计算小麦适宜施钾量: $F=A \times$

$(1-R)/E$, 式中, F 为“小麦适宜施钾量”, A 为“小麦目标产量移出钾量”, R 为“缺钾处理相对产量”, E 为“钾肥当季利用率”。

小麦目标产量确定为如下 7 个: 3.0、4.5、6.0、7.5、9.0、10.5 和 12.0 t/hm²。小麦单位经济产量移出钾量(K_2O)确定为 28 kg/t^[15-17]。小麦 7 个目标产量移出钾(K_2O)的数量依次确定为 84、126、168、210、252、294 和 336 kg/hm²。取各丰缺级别的相对产量下限作为该级别的缺素处理相对产量。本研究设置 3 个钾肥当季利用率: 40%、50% 和 60%。

2 结果与分析

2.1 小麦土壤缺钾处理相对产量与土壤速效钾含量回归方程

本研究搜集提取出 12 个省、市、自治区小麦缺钾处理相对产量与土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 和 ASI-K 含量回归方程的数量分别为 42 个和 2 个, 合计 44 个(表 1)。其中, 采用自然对数模型的 42 个, 采用反函数模型的 1 个, 采用指数函数模型的 1 个; 样本数量(试验点数) <15 、15 ~ 20、21 ~ 30、31 ~ 60、61 ~ 120、121 ~ 240、 >240 和原文献未注明的研究数量分别为 8、10、

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-35)资助。

作者简介: 孙洪仁(1965—), 男, 吉林怀德人, 硕士, 副教授, 研究方向为牧草与作物水肥管理。E-mail: sunhongren@cau.edu.cn

表 1 中国小麦缺钾处理相对产量与土壤速效钾含量回归方程

Table 1 Regression equations between relative yields of no K fertilizer treatments and soil available K contents in China

自然区域	行政区域	回归方程	决定系数 R^2	样本数量 n	土壤速效钾含量(mg/kg)	相对产量(%)	文献	
黄淮海平原	天津	$y = 11.668\text{Ln}x + 29.537$	0.229 6**	72	60 ~ 350	60 ~ 100	[18]	
	河北清苑	$y = 67.913\text{Ln}x - 243.91$	0.718 5**	20	65 ~ 160	35 ~ 95	[3]	
	河北望都	$y = 23.06\text{Ln}x - 15.7$	0.618 8**	8	72 ~ 141	82 ~ 102	[19]	
	河北藁城	$y = 31.56\text{Ln}x - 57.866$	0.795**	24	68 ~ 151	72 ~ 102	[4]	
	河北内丘	$y = 39.115\text{Ln}x - 93.966$	0.912 2**	10	80 ~ 117	77 ~ 92	[20]	
	山东	$y = 14.256\text{Ln}x + 24.809$	0.384 3**	83	48 ~ 215	65 ~ 105	[21]	
	山东临朐	$y = 21.216\text{Ln}x - 15.231$	0.427 4**	17	130 ~ 222	87 ~ 102	[5]	
	山东兖州	$y = 58.73\text{Ln}x - 176.43$	0.679 1**	20			[22]	
	山东郯城	$y = x / (0.0083x + 0.3137)$	0.614 7**	20			[23]	
	河南	$y = 9.6863\text{Ln}x + 43.589$	0.170 8**	866			[6]	
	河南潮土区	$y = 8.3758\text{Ln}x + 50.342$	0.131 8**	465			[6]	
	河南褐土区	$y = 12.265\text{Ln}x + 22.475$	0.214 6**	211			[6]	
	河南黄褐土区	$y = 12.761\text{Ln}x + 25.547$	0.198 3**	88			[6]	
	河南砂姜黑土区	$y = 8.8043\text{Ln}x + 47.647$	0.136 6**	102			[6]	
	河南潮土区	$y = 10.302\text{Ln}x + 41.705$	0.309 1**	75	41 ~ 210	65 ~ 105	[24]	
	河南褐土区	$y = 18.569\text{Ln}x - 2.7508$	0.511 5**	17	65 ~ 300	77 ~ 110	[24]	
	河南砂姜黑土区	$y = 68.573\text{Ln}x - 238.77$	0.645 6**	60	38 ~ 274	25 ~ 150	[25]	
	河南潮土区	$y = 52.108\text{Ln}x - 152.18$	0.797 8**	66	26 ~ 223	35 ~ 135	[26]	
	河南北部	$y = 11.073\text{Ln}x + 36.803$	0.34 5*	95	60 ~ 180	75 ~ 98	[27]	
	河南西北部	$y = 19.507\text{Ln}x - 7.4009$	0.264 5**		100 ~ 197	76 ~ 100	[7]	
	河南新乡	$y = 13.896\text{Ln}x + 27.246$	0.648**	22	49 ~ 180	82 ~ 100	[28]	
	河南济源	$y = 38.997\text{Ln}x - 101.88$	0.938 9**	20	78 ~ 219	65 ~ 110	[29]	
	河南民权	$y = 10.001\text{Ln}x + 41.565$	0.239 7**	17	57 ~ 159	78 ~ 98	[8]	
	河南柘城	$y = 15.821\text{Ln}x + 11.809$	0.465 9**	15	53 ~ 153	65 ~ 95	[30]	
	河南邓州	$y = 33.652\text{Ln}x - 94.557$	0.839 9**	20	108 ~ 260	69 ~ 97	[31]	
	河南新野	$y = 39.582\text{Ln}x - 116.97$	0.939 8**	22	59 ~ 286	46 ~ 102	[9]	
	安徽蚌埠	$y = 21.018\text{Ln}x - 12.659$	0.287 3**	128	60 ~ 290	50 ~ 100	[32]	
	安徽小麦-玉米轮作区	$y = 13.167\text{Ln}x + 22.798$	0.549 2**	27	75 ~ 250	75 ~ 92	[33]	
	江苏大丰	$y = 32.29\text{Ln}x - 64.439$	0.838 7**	16	88 ~ 158	76 ~ 99	[34]	
	长江中下游平原	江苏如东	$y = 52.933\text{Ln}x - 157.89$	0.704 1**	27	75 ~ 153	70 ~ 116	[35]
		江苏扬州江都	$y = 23.99\text{Ln}x - 23.29$	0.662 4**	24	55 ~ 145	75 ~ 101	[10]
		江苏扬州邗江	$y = 17.053\text{Ln}x + 14.175$	0.533 1**	12	79 ~ 132	89 ~ 99	[36]
四川盆地	四川盆地	$y = 140.243e(-29.715/x)$	0.715 7**	94			[37]	
秦巴山区	陕西旬阳	$y = 16.292\text{Ln}x + 6.7772$	0.312*	17	59 ~ 286	46 ~ 102	[38]	
	陕西洛南	$y = 22.349\text{Ln}x - 13.459$	0.197 6*	25	83 ~ 173	68 ~ 120	[39]	
关中灌区	陕西关中灌区	$y = 9.6233\text{Ln}x + 45.938$	0.199 5**	72	80 ~ 550	76 ~ 120	[40]	
	陕西关中灌区	$y = 19.611\text{Ln}x - 7.8521$	0.348 1**	82	78 ~ 221	65 ~ 105	[41]	
	陕西咸阳灌区	$y = 11.703\text{Ln}x + 34.224$	0.274 7**	50	90 ~ 290	75 ~ 100	[42]	
黄土高原	甘肃庆城	$y = 44.194\text{Ln}x - 136.3$	0.959 3**	10	100 ~ 208	67 ~ 99	[43]	
	甘肃庄浪	$y = 22.083\text{Ln}x - 31.23$	0.942 5**	10	65 ~ 290	61 ~ 95	[44]	
	甘肃临洮	$y = 37.726\text{Ln}x - 102.69$	0.676**	11	100 ~ 200	65 ~ 100	[11]	
河套灌区	内蒙古河套灌区	$y = 28.228\text{Ln}x - 62.206$	0.731 3**	102	60 ~ 360	40 ~ 100	[45]	
	宁夏灌区	$y = 42.523\text{Ln}x - 118.78$	0.848 5**	7	115 ~ 235	80 ~ 110	[46]	
塔里木盆地	新疆阿克苏	$y = 27.05\text{Ln}x - 41.25$	0.549 2**	31	58 ~ 187		[47]	

注：表示 20 世纪 90 年代研究结果；表示 ASI-K。

7、3、11、2、2 个和 1 个；达到极显著水平($P < 0.01$)的回归方程 41 个，达到显著水平($P < 0.05$)的 3 个；决定系数 $R^2 \geq 0.5$ 和 < 0.5 的研究数量分别为 25 个和 19 个。

我国小麦缺钾处理相对产量与土壤速效钾含量回归方程研究，黄淮海平原尤其是河南省开展得多而系统，四川盆地、关中灌区和河套灌区开展得亦较为系统，长江中下游平原、秦巴山区、黄土高原和塔里木盆地仅开展了少量市域和县域研究，还有很多区域的研究为空白。

2.2 小麦土壤速效钾丰缺指标

本研究通过搜集的数据建立了 12 个省、市、自治区小麦土壤速效钾丰缺指标 44 套，其中 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 42 套、 ASI-K 2 套(表 2)。注明缺钾处理相对产量或土壤速效钾含量范围者 36 套，其中含外推数据者 32 套，20 套两端都含有，12 套仅一端含有；4 套低端不含外推数据，16 套高端不含。若外推数据不予采用，分级数量 2 个者 7 套，3 个者 14 套，4 个者 7 套，5 个者 3 套，6 个者 1 套，7 个者 4 套，第 1~7 级划分出来的比例依次为 44.4%、100%、100%、69.4%、30.6%、13.9% 和 11.1%。若外推数据予以采用， $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量第 1 级下限 100~150、151~200、201~250、251~300、301~350、351~400 和 >400 mg/kg 的丰缺指标数量依次为 6、11、7、5、7、4 个和 2 个； $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量第 7 级上限 10、11~20、21~30、31~40、41~50 和 >50 mg/kg 者依次为 15、8、6、3、2 个和 8 个。

与 20 世纪 90 年代相比，21 世纪初小麦土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 丰缺指标呈现出升高趋势。以第 2 级下限为例，20 世纪 90 年代为 81(67~94)mg/kg($n=2$)，21 世纪为 140(80~246)mg/kg($n=40$)，但差异未达到显著水平。

不同区域小麦土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 丰缺指标差异很大，以第 2 级下限为例，土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量变动范围为 80~246 mg/kg。河南褐土区小麦土壤的 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 丰缺指标明显高于潮土区、砂姜黑土区和黄褐土区。不同学者的研究结果存在较大差异，如河南省褐土区土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 第 2 级下限高者 246 mg/kg，低者 148 mg/kg。

2.3 不同速效钾丰缺级别土壤小麦适宜施钾量

小麦适宜施钾量与目标产量线性正相关，与钾肥当季利用率线性负相关，与土壤速效钾丰缺级别线性负相关(表 3)。若以丰缺级别第 2 级的适宜施钾量为基数，每降低 1 个级别，适宜施钾量提高 1 倍，第 3~

7 级适宜施钾量依次是第 2 级的 2 倍~6 倍。当目标产量为 4.5~12 t/hm²、钾肥当季利用率为 50% 时，第 1~7 级的小麦适宜施钾量范围依次为 0、17~67、34~134、50~202、67~269、84~336 和 101~403 kg/hm²。土壤钾素收支平衡点(钾素施入量等于钾素移出量)与钾肥当季利用率密切相关。钾肥当季利用率 60%、50% 和 40% 时，土壤钾素收支平衡点分别为第 7、6 和 5 级。

3 讨论

3.1 中国小麦土壤速效钾丰缺指标的区域差异、空白区域与历史变化

以缺钾处理相对产量 90% 指标为例，我国小麦土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量变动范围为 80~246 mg/kg，可见土壤速效钾丰缺指标不同区域之间差异颇大。区域差异的成因可能有以下几项：一是，施肥水平不同，引起钾素需求强度变化；二是，小麦单产水平不同，养分需求强度存在差异；三是，土壤类型不同，供肥特点存在差异。还有一种可能是人为因素所致，不同学者建立土壤速效钾含量与缺钾处理相对产量回归方程时采用的数据取舍方法不同，亦会造成丰缺指标出现较大差异。

黄淮海平原、四川盆地、关中灌区和河套灌区的小麦缺钾处理相对产量与土壤速效钾含量回归方程研究较为系统，全国尚存在很多研究空白区域。

土壤养分丰缺指标研究全国协作组^[1-2]、武同华和孟淑华^[22]和陈沧桑等^[37]的研究表明，我国小麦缺钾处理相对产量 90% 的土壤 $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ 含量指标，20 世纪 80—90 年代为 90(67~120)mg/kg($n=4$)，21 世纪初为 140(80~246)mg/kg($n=40$)，后者显著高于前者($P < 0.05$)。可见 30 a 年来我国小麦土壤速效钾丰缺指标明显提高。指标提高可能是氮肥、磷肥及微肥用量大幅增加引发，亦可能是小麦单产水平明显提高所致。

3.2 中国小麦土壤速效钾丰缺级别的分布

36 项注明土壤速效钾含量或缺钾处理相对产量范围的研究中，在不用外推数据的情形下，第 2 和 3 级划出比例很高(100%)，第 4 级亦较高(69.4%)，第 1 和 5~7 级很低(11.1%~44.4%)。不难看出，我国小麦土壤速效钾丰缺级别集中在第 2~4 级，缺钾处理相对产量大多介于 70%~100%，小麦土壤缺钾较为普遍。

3.3 土壤养分丰缺指标研究中外推数据的采用和试验点数的要求

关于是否应该采用外推数据，学者们众说纷纭。

表 2 中国小麦土壤速效钾丰缺指标
Table 2 Abundance-deficiency indices of soil available K for wheat in China

自然区域	行政区域	不同丰缺级别/相对产量对应的速效钾含量(mg/kg)						
		7/<50%	6/50%~60%	5/60%~70%	4/70%~80%	3/80%~90%	2/90%~100%	1/100%
黄淮海平原	天津			<33	33~76	76~178	178~420	>420
	河北清苑	<76	76~88	88~102	102~118	118~137	137~159	>159
	河北望都				<64	64~98	98~151	>151
	河北藁城			<58	58~79	79~109	109~149	>149
	河北内丘			<67	67~86	86~111	111~143	>143
	山东			<24	24~48	48~97	97~196	>196
	山东临朐				<89	89~143	143~229	>229
	山东兖州	<48	48~56	56~67	67~79	79~94	94~111	>111
	山东郯城	<27	27~38	38~53	53~76	76~114	114~189	>189
	河南	<2	2~6	6~16	16~43	43~121	121~339	>339
	河南潮土区	<1	1~4	4~11	11~35	35~114	114~376	>376
	河南褐土区	<10	10~22	22~49	49~109	109~246	246~556	>556
	河南黄褐土区	<7	7~15	15~33	33~72	72~157	157~342	>342
	河南砂姜黑土区	<2	2~5	5~13	13~40	40~123	123~383	>383
	河南潮土区			<16	16~42	42~109	109~287	>287
	河南褐土区			<51	51~87	87~148	148~253	>253
	河南砂姜黑土区	<68	68~78	78~91	91~105	105~121	121~140	>140
	河南潮土区	<49	49~59	59~72	72~87	87~105	105~127	>127
	河南北部				<50	50~122	122~302	>302
	河南西北部				<89	89~148	148~247	>247
	河南新乡				<45	45~92	92~188	>188
	河南济源		<64	64~83	83~107	107~138	138~178	>178
	河南民权				<47	47~127	127~345	>345
	河南柘城			<40	40~75	75~141	141~264	>264
	河南邓州		<99	99~133	133~179	179~241	241~325	>325
	河南新野	<68	68~88	88~113	113~145	145~187	187~241	>241
	安徽蚌埠			<52	52~83	83~133	133~213	>213
安徽小麦-玉米轮作区			<37	37~77	77~165	165~352	>352	
江苏大丰			<46	46~60	60~80	80~106	>106	
长江中下游平原	江苏如东	<62	62~75	75~90	90~109	109~131	>131	
	江苏扬州江都		<49	49~75	75~113	113~171	>171	
	江苏扬州邗江			<48	48~86	86~154	>154	
四川盆地	四川盆地	<29	29~35	35~43	43~53	53~67	67~88	>88
秦巴山区	陕西旬阳			<49	49~90	90~166	166~306	>306
	陕西洛南				<66	66~103	103~161	>161
关中灌区	陕西关中灌区				<35	35~98	98~276	>276
	陕西关中灌区			<53	53~89	89~147	147~245	>245
	陕西咸阳灌区				<50	50~118	118~276	>276
黄土高原	甘肃庆城		<85	85~107	107~134	134~168	168~210	>210
	甘肃庄浪		<63	63~98	98~154	154~243	243~381	>381
	甘肃临洮			<98	98~127	127~166	166~216	>216
河套灌区	内蒙古河套灌区	<54	54~76	76~109	109~155	155~220	220~313	>313
	宁夏灌区				<108	108~136	136~172	>172
塔里木盆地	新疆阿克苏		<43	43~62	62~89	89~128	128~185	>185

注：表示无土壤速效钾含量和相对产量范围，表示 ASI-K，表示 20 世纪 90 年代研究结果，带下划线者为外推数据。

表 3 中国不同丰缺级别土壤的小麦适宜施钾量
Table 3 Appropriate K application rates in soils with different abundance-deficiency levels for wheat in China

目标产量 (t/hm ²)	钾肥当季利用率 (%)	不同丰缺级别/相对产量小麦适宜施钾量(K ₂ O, kg/hm ²)						
		7/<50%	6/50%~60%	5/60%~70%	4/70%~80%	3/80%~90%	2/90%~100%	1/≥100%
3.0	60	84	70	55	42	28	14	0
	50	101	84	67	50	34	17	0
	40	126	105	84	63	42	21	0
4.5	60	126	105	83	63	42	21	0
	50	151	126	101	76	50	25	0
	40	189	158	126	95	63	32	0
6.0	60	168	139	111	84	55	29	0
	50	202	168	134	101	67	34	0
	40	252	210	168	126	84	42	0
7.5	60	210	174	139	105	69	36	0
	50	252	210	168	126	84	42	0
	40	315	263	210	158	105	53	0
9.0	60	252	209	166	126	83	43	0
	50	302	252	202	151	101	50	0
	40	378	315	252	189	126	63	0
10.5	60	294	244	194	147	97	50	0
	50	353	294	235	176	118	59	0
	40	441	368	294	221	147	74	0
12.0	60	336	279	222	168	111	57	0
	50	403	336	269	202	134	67	0
	40	504	420	336	252	168	84	0

本研究允许于高、低端各保留 1 个外推数据,结果约半数较为靠谱,约半数较为离谱——第 1 级土壤 NH₄OAc-K 含量下限指标高达 300 mg/kg 以上。采用外推数据确需谨慎,若予以采用,则应当注明。

关于土壤养分丰缺指标研究要求试验点数的要求,学者们较为一致的观点是应该 20 个以上^[17,48-49]。如果每个级别试验点数要求 3 个以上,那么 7 个级别至少需要 21 个试验点。本研究搜集到的 44 个回归方程中,18 个试验点数不足 21 个,比例高达 40.9%。

3.4 中国小麦适宜施钾量

本文涉及文献^[18-47]针对全国各地目标产量 1.5 ~ 9.0 t/hm² 小麦的推荐施钾量为 0 ~ 231 kg/hm²。中国主要作物施肥指南^[16]针对目标产量 3.0 ~ 7.5 t/hm² 小麦的推荐施钾量为 0 ~ 160 kg/hm²。在目标产量相同时,本研究之第 1 ~ 5 级小麦适宜施钾量与其大体一致。

3.5 适宜施肥量影响因子及土壤养分收支平衡点

孙洪仁等^[14]的研究表明,适宜施肥量与目标产量线性正相关、与肥料当季利用率线性负相关、与土壤养分丰缺级别线性负相关;土壤养分收支平衡点

(养分施入量等于养分移出量)与肥料当季利用率密切相关。本研究结果与其一致。

本研究速效钾含量第 1 ~ 4 级土壤的推荐施钾量低于钾素移出量,土壤钾素收支状况为负平衡,土壤钾素含量将逐年降低。第 5 ~ 7 级土壤的推荐施钾量依次等于肥料当季利用率 40%、50% 和 60% 情形下的钾素移出量,土壤钾素收支状况为零平衡,土壤钾素含量将长期保持稳定。未予列出的第 8 级以下土壤的推荐施钾量大于钾素移出量,土壤钾素收支状况为正平衡,土壤钾素含量将逐年升高。显然,土壤钾素收支平衡点势必成为土壤钾素丰缺级别的终极趋向点。

小麦秸秆钾素含量很高,约占全株之 3/4。若施行秸秆还田,第 1 级土壤钾素收支状况将得到明显改善,但依然是负平衡;第 2 ~ 4 级土壤钾素收支状况大体上可以实现零平衡;第 5 ~ 7 级土壤钾素收支状况可以实现正平衡;第 8 级以下土壤钾素收支正平衡状态将得到进一步强化。

当前,我国乃至全世界绝大多数作物土壤的钾素收支皆处于负平衡状态。由于绝大多数农田土壤富含钾素,作物钾素满足率较高,加之钾肥当季利用率亦较高,因此无需大量施钾即可满足作物高产优质之需求。于是,出于经济效益考量,绝大多数种植企业和农户选择适量施肥,接受土壤钾素收支处于负平衡状态。

4 结论

30 a 来我国小麦土壤速效钾丰缺指标明显提高。不同区域之间小麦土壤速效钾丰缺指标差异颇大。我国小麦土壤速效钾丰缺指标研究存在很多空白区域。小麦土壤缺钾较为普遍,第 2~4 级为土壤速效钾集中分布的丰缺级别,缺钾处理相对产量大多处在 70%~100%。丰缺指标高端和低端采用外推数据需谨慎,并应予以注明。适宜施钾量与土壤速效钾丰缺级别线性负相关,与小麦目标产量线性正相关,与钾肥当季利用率线性负相关。土壤养分收支平衡点与肥料当季利用率密切相关。

参考文献:

- [1] 周鸣铮. 中国的测土施肥[J]. 土壤通报, 1987, 18(1): 7-13
- [2] 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
- [3] 刘辰琛, 吉艳芝, 张丽娟, 等. 河北清苑县冬小麦土壤速效氮、磷、钾丰缺指标的初步研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 911-915
- [4] 周晓芬, 冯伟, 杨军芳, 等. 太行山山前平原秸秆还田条件下小麦磷、钾丰缺指标研究[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 170-174
- [5] 贺键, 郭守平, 李燕. 县级区域冬小麦测土配方施肥指标体系研究[J]. 现代农业科技, 2010(12): 257-258
- [6] 武金果. 河南省小麦土壤有效磷钾丰缺指标研究[J]. 中国农技推广, 2014, 30(1): 37-38
- [7] 褚小军. 豫西北冬小麦施肥指标体系建立的初步研究[J]. 河南农业, 2009(9 上): 22-23
- [8] 程杰. 民权县小麦磷钾丰缺指标初探[J]. 河南农业, 2012(8 上): 17
- [9] 毛云飞. 冬小麦速效钾丰缺指标研究[J]. 现代农林科技, 2012(8): 64, 67
- [10] 钱家本, 唐宝国, 毛伟, 等. 扬州市江都区冬小麦磷钾养分丰缺指标体系建立的研究[J]. 现代农业科技, 2012(6): 69-70
- [11] 宋景东. 临洮县冬小麦测土配方施肥指标研究[J]. 农业科技与信息, 2011(11): 47-48
- [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(10 上): 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(4 上): 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(12 上): 7-11
- [15] 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
- [16] 张福锁, 陈新平, 陈清. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009
- [17] 谭金芳, 张自立, 邱慧珍, 等. 作物施肥原理与技术(第 2 版)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011
- [18] 陈子学, 侯正仿, 肖波, 等. 冬小麦土壤养分丰缺指标研究及推荐施肥建议[J]. 天津农林科技, 2012(5): 1-4
- [19] 姜梦辉. 小麦-玉米合理施肥技术及区域养分分布规律研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2008
- [20] 张建发. 内丘县土壤养分调查分析及小麦玉米推荐施肥量研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2012
- [21] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197-203
- [22] 武同华, 孟淑华. 配方施肥中的在建设吨粮田研究与应用[J]. 土壤肥料, 1995(2): 17-20
- [23] 李建军, 孙传军, 杨爱友, 等. 黄淮海地区冬小麦施肥技术参数与指标体系的研究[J]. 河北农业科学, 2008, 12(4): 52-54
- [24] 郑义, 孙笑梅, 易玉林. 河南冬小麦施肥指标体系的建立于分区施肥推荐研究初报[C]//江荣风, 杜森, 张福锁, 等. 第二届全国测土配方施肥技术研讨会论文集. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 23-29
- [25] 孙克刚, 李丙奇, 和爱玲. 砂姜黑土区麦田土壤有效钾施肥指标及小麦施钾研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(2): 212-215
- [26] 孙克刚, 和爱玲, 金修宽, 等. 潮土区麦田土壤有效钾施肥指标及施钾量研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(2): 67-69, 73
- [27] 易玉林, 彭雪松, 叶优良. 应用“3414”试验建立豫北地区冬小麦磷钾肥指标体系[J]. 河南科技, 2012, 30(6): 712-715
- [28] 田芳, 岳利霞, 杜昉航. 新乡市小麦磷钾养分丰缺指标与推荐施肥量研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(18): 7806-7807, 7819

- [29] 王伶俐. 河南省济源市小麦施肥技术参数与指标体系的研究[J]. 现代农村科技, 2016(16): 48-50
- [30] 王建. 柘城县冬小麦磷钾丰缺指标初步研究[J]. 河南农业, 2013(6上): 15-16
- [31] 张有成. 邓州市小麦施肥指标体系建立技术探讨[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(23): 7844-7847
- [32] 赵敏. 蚌埠市土壤养分含量与分布及稻麦配方施肥指标体系研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016
- [33] 王勇. 区域土壤养分状况综合评价及主要作物施肥指标体系研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011
- [34] 茅锦国, 刘荣根, 沈书龙. 大丰市小麦测土配方施肥指标体系研究[J]. 上海农业科技, 2011(4): 1-2, 4
- [35] 刘爱云, 石佑华. 加沙土种植小麦磷钾丰缺指标与推荐施肥量研究[J]. 上海农业科技, 2010(6): 56-58
- [36] 刘燕, 刘宇庆, 刘金龙, 等. 基于“3414”肥效试验的不同土壤类型小麦田磷钾丰缺指标体系的建立[J]. 江西农业学报, 2011, 23(4): 94-95
- [37] 陈沧桑, 孙锡发, 何才富, 等. 潮土、紫色土及黄壤上施钾对小麦产量的影响[J]. 西南农业学报, 1999, 12(4): 48-52
- [38] 梁宏爱, 陈和润, 鲁拥军. 旬阳县小麦田施肥技术研究[J]. 新农村, 2011(14): 9-10
- [39] 李存玲, 朱德剑. 应用“3414”试验建立洛南县小麦施肥指标体系探析[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(6): 71-74
- [40] 付莹莹, 同延安, 李文祥, 等. 陕西关中灌区冬小麦土壤养分丰缺指标体系的建立[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 897-900
- [41] 刘芬, 同延安, 王小英, 等. 陕西关中灌区冬小麦施肥指标研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 556-563
- [42] 刘疆. 咸阳灌区冬小麦推荐施肥指标体系研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013
- [43] 强世军, 翟富民. 庆城县冬小麦氮磷钾肥料施肥指标体系的建立[J]. 新农村, 2011(15): 28-29
- [44] 赵振刚. 庄浪县冬小麦测土配方施肥指标研究[J]. 甘肃农业科技, 2009(7): 30-33
- [45] 李文彪, 郑海春, 李书田, 等. 内蒙古河套灌区春小麦推荐施肥指标体系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1327-1334
- [46] 马玉兰, 冯静, 尹学红, 等. 宁夏自流灌区粮食作物施肥指标体系[J]. 宁夏农林科技, 2008(3): 5-8
- [47] 祁永春. 阿克苏地区小麦土壤丰缺指标及施肥指标研究[J]. 新疆农业科技, 2016(5): 48-50
- [48] 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: 43-49
- [49] 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: 77-91

Study on Abundance-deficiency Indices of Soil Available Potassium and Appropriate Potassium Application Rates for Wheat in China

SUN Hongren¹, ZHANG Jiping², GANG Lihua³, LÜ Yucai², WANG Yinghai⁴

(1 College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2 Beijing Liukai Agriculture Sci.&Tech. Co., Ltd., Beijing 100095, China; 3 Beijing Potato Net Agriculture Science Academy, Beijing 100043, China; 4 Beijing Insentek Technology Co., Ltd., Beijing 100086, China)

Abstract: In this paper, results of studies on abundance-deficiency index (ADI) of soil available potassium (SAK) for wheat and appropriate potassium fertilizer application rate (APFAR) conducted in China were systematically summarized and analyzed. The results showed that ADI of SAK for wheat in China had improved obviously in recent 30 years. There were considerable differences in ADI of SAK for wheat in different regions, and ADI of soil $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ for wheat for 90% relative yield (RY) of the complete nutrient treatment except potassium (CNTEP, i.e., K-deficient treatment) changed from 80 to 246 mg/kg. Studies on ADI of SAK for wheat in China left many blank regions except the Huang-huai-hai Plain, Sichuan Basin, Guanzhong irrigation area and Hetao irrigation area. K deficiency for wheat were common in China, SAK for wheat was focused on 2 – 4 levels, and most RYs of CNTEP were between 70% – 100%. For research on ADI of soil nutrients, the number of trial sites should not be too little, and it should be careful and indicated using extrapolating data for the high-end and low-end of ADI. APFAR was linearly negatively correlated with SAK abundance-deficiency level for wheat. APFAR was linearly positively correlated with the yield goal of wheat. APFAR was linearly negatively correlated with potassium fertilizer use efficiency in current season (PFUEICS). When PFUEICS was 50% and the target yield was 3.0 – 12 t/hm², APFAR for wheat of SAK abundance-deficiency level 1 – 7 from high to low were 0, 17 – 67, 34 – 134, 50 – 202, 67 – 269, 84 – 336 and 101 – 403 kg/hm², respectively.

Key words: Soil testing and fertilizer recommendation; Soil available K; $\text{NH}_4\text{OAc-K}$; ASI-K; Nutrient abundance-deficiency index; Fertility index; Fertilizer application rate