

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20257

河北省小麦减肥潜力分析

杨云马, 黄少辉, 杨军芳, 贾良良*

(河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北省肥料技术创新中心,
河北 石家庄 050051)

摘要: 利用统计数据, 分析了 2000 ~ 2016 年河北省氮磷钾养分用量动态变化。利用河北省小麦测土配方施肥项目“氮磷钾 3414”试验结果 ($n=3358$), 深入分析了小麦氮磷钾养分适宜用量及节肥潜力。结果表明, 河北省氮磷钾养分用量以 2014 年最高, 为 335.6 万 t, 之后呈现下降趋势。调查数据表明, 河北省小麦养分用量现状为 $N\ 223.9\ kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5\ 151.2\ kg \cdot hm^{-2}$ 、 $K_2O\ 59.8\ kg \cdot hm^{-2}$ 。线性加平台模型拟合分析, 河北省小麦单位面积养分推荐用量为 $N\ 155.9\ kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5\ 117.2\ kg \cdot hm^{-2}$ 、 $K_2O\ 92.5\ kg \cdot hm^{-2}$, 与农户用肥现状相比可节肥 12.58 万 t。其中可节氮 14.55 万 t, 占小麦氮投入量的 28.4%; 节磷 4.94 万 t, 占小麦磷投入量的 28.4%; 钾需增加投入 6.91 万 t。小麦单位面积节氮、节磷潜力以石家庄市最大, 邢台市最小。

关键词: 河北省; 小麦; 氮磷钾; 节肥潜力

化肥作为农作物的“粮食”, 在保障作物产量、提高农田土壤肥力方面有着不可替代的作用。金继运等^[1]分析表明, 施用化肥可提高粮食单产 40% ~ 50% 以上, 粮食总产中约有 1/3 是施用化肥的贡献。农民为了获得高产, 盲目施肥, 使养分投入不平衡^[2-4], 导致作物产量与养分投入量间没有显著的相关关系^[5-6], 甚至由于过量施用某种养分, 造成作物减产^[7]、养分利用率下降^[8]的问题。大量未被作物吸收的养分进入非农生态环境, 变成了污染因子^[9]。合理平衡施肥既能降低农业生产成本, 又能减少环境污染, 如何实现平衡施肥是我国农业亟待解决的问题。

小麦、玉米轮作是河北省主要的种植方式, 小麦种植面积常年在 200 万 hm^2 以上。前人从田块尺度或省域尺度, 分析了河北省小麦养分推荐用量。He 等^[7]在辛集试验点研究结果表明小麦氮 (N)、磷 (P_2O_5)、钾 (K_2O) 推荐量分别为 180、

100、75 $kg \cdot hm^{-2}$; 沙之敏等^[10]在辛集试验点小麦氮磷钾养分推荐量分别为 180、75、120 $kg \cdot hm^{-2}$; Jia 等^[11]在辛集试验点研究结果表明小麦氮肥推荐用量分别为 210 $kg \cdot hm^{-2}$; 杜君等^[12]研究表明河北容城试验点小麦氮磷钾养分推荐用量分别为 154.95、129、103.35 $kg \cdot hm^{-2}$; Zhang 等^[13]研究表明氮肥推荐用量分别为 202 $kg \cdot hm^{-2}$; 贾良良等^[14]对河北省 83 个小麦养分专家系统推荐施肥试验进行分析, 得出河北省小麦主产区氮磷钾养分推荐量分别为 164.9、77.0、73.6 $kg \cdot hm^{-2}$ 。目前对田块尺度小麦养分适宜用量的研究较多, 不同研究间差异较大, 对区域尺度的研究较少。本研究利用河北省测土配方施肥项目“氮磷钾 3414”试验数据, 深入分析了河北省不同区域小麦养分适宜用量, 探寻了不同区域小麦节肥潜力, 为河北省肥料减施提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究采用的数据主要来源以下 3 个渠道, 一是河北省测土配方施肥项目“氮磷钾 3414”试验数据, 共采用了 3358 组冬小麦“氮磷钾 3414 田间试验”; 二是《河北农村统计年鉴》^[15], 共选用了 2000 ~ 2016 年 17 年的统计资料; 三是“农业部种植业管理司农作物数据库”^[16]。河北省氮磷钾养分用量来自《河北农村统计年鉴》^[15], 河北省小

收稿日期: 2020-05-07; 录用日期: 2020-06-29

基金项目: 国家重点研发计划: 区域尺度养分推荐方法与限量标准 (2016YFD0200105); 河北省重点研发计划项目: 河北省平原区小麦-玉米轮作农田耕地质量保育与改良关键技术研究 (19226438D); 河北省农林科学院农业资源环境与绿色增长创新团队项目。

作者简介: 杨云马 (1978-), 男, 河北辛集人, 研究员, 硕士研究生, 主要从事养分资源管理及耕作施肥方面研究。E-mail: yangyunma@163.com。

通讯作者: 贾良良, E-mail: jiall990@126.com。

麦播种面积、产量及排名等资料来自“种植业管理司农作物数据库”，河北省各市小麦播种面积来自《河北农村统计年鉴》^[15]。河北省各市小麦单位面积养分量、单产来自于测土配方施肥调查数据。

1.2 数据计算

河北省养分用量是将统计资料中氮磷钾养分量加上复合(混)肥中相应养分量。复合(混)肥养分分解,根据杨帆等^[17]对农民购买复合(混)肥料配方的调查结果进一步计算,将复混肥养分按照 N 37.27%、P₂O₅ 31.18%、K₂O 31.55% 的比例分解为氮、磷、钾单质养分,计算得到河北省 2000 ~ 2016 年的氮磷钾养分量。

河北省及各市单位面积氮磷钾养分适宜用量是利用线性加平台模型^[18-19],通过 SPSS 软件,分析全省 3358 组小麦“氮磷钾 3414”试验数据计算得到的,并得到适宜养分量下的小麦平台单产。有研究对比了线性加平台、二次型、平方根、二次型加平台等模型拟合小麦产量与氮肥用量关系,对比发现最优的氮肥效应模型为线性加平台模型^[19]。本研究采用线性加平台模型拟合氮、磷、钾养分量与小麦产量的关系。

线性加平台模型: $Y=a+bx (x < c)$; $Y=p (x \geq c)$ 。其中 Y 为小麦籽粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x 为养分量 (N、P₂O₅、K₂O $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), a 为截距, b 为回归系数, c 为直线与平台的交点, p 为小麦平台产

量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

各市适宜养分用量 = 模型计算单位面积适宜养分量 × 2016 年各市小麦播种面积;

各市调查养分用量 = 调查所得单位面积养分量 × 2016 年各市小麦播种面积;

小麦节肥潜力 = 各市调查养分用量 - 各市适宜养分用量;

小麦调查产量 = 调查所得小麦单产 × 2016 年小麦播种面积;

模型计算小麦产量 = 模型计算小麦单产 × 2016 年小麦播种面积。

2 结果与分析

2.1 河北省氮磷钾养分量变化

统计数据表明,河北省养分用量从 2000 至 2014 年呈逐年增加的趋势,以 2014 年最高,为 335.6 万 t。2015 年养分用量为 335.5 万 t,基本与 2014 年持平。2016 年用量为 331.8 万 t,相比 2014 年减少 3.7 万 t,减少 1.1%,其中氮减少 4.23 万 t,磷减少 0.53 万 t,钾增加 0.94 万 t。

3 种养分中以氮用量比率最高,但呈现缓慢下降趋势,从 2000 年的 63.21% 降至 2016 年的 56.49%。磷用量所占比率次之,维持在 24% 左右。钾用量所占比率最低,但呈现上升趋势,从 2000 年的 13.44% 升至 2016 年的 19.19%。

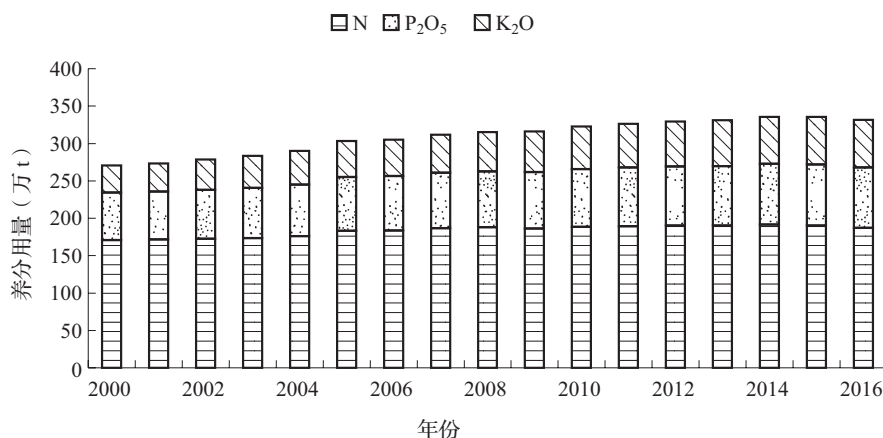


图 1 河北省历年氮磷钾养分施用量

2.2 河北省小麦节肥潜力分析

2.2.1 河北省小麦种植情况

河北省是我国小麦的主要产区之一,播种面积 216.1 万 ~ 267.9 万 hm^2 ,产量 1019 万 ~ 1435 万 t,播种面积占全国 10%,产量占全国 11.3% (数据来

自种植业管理司农作物数据库^[16]) (图 2)。播种面积处于全国第 3 或第 4 位,产量为第 3 位。小麦同时也是河北省的主要作物,常年播种面积占全省作物总播种面积的 24.3% ~ 29.7% (数据来自河北农村统计年鉴^[15])。

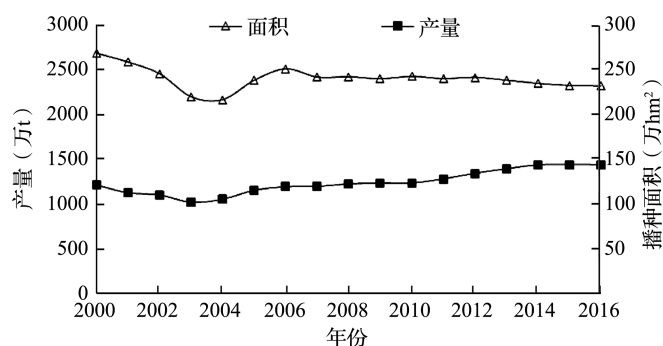


图2 河北省历年小麦播种面积及产量

2.2.2 河北省小麦养分用量

河北省小麦氮磷钾平均用量分别为 223.9、151.2、59.8 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表1)。不同区域间有一定差异, 氮用量石家庄最高 ($240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 沧州最低 ($200.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); 磷用量邯郸最高 ($164.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 沧州最低 ($136 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 钾用量邢台最高 ($65.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 保定最低 ($53.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

以 2016 年小麦播种面积及测土配方施肥调查数据, 计算得到河北省小麦养分用量, 其中氮用量 51.18 万 t、磷用量 34.53 万 t、钾用量 13.64 万 t, 分别占全省相应养分总用量的 27.31%、42.80%、21.43%。

表1 河北省 2016 年小麦养分用量

市区	小麦养分平均用量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			计算小麦养分用量 (万 t)			小麦氮磷钾用量占 全省氮磷钾总量比例 (%)		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
石家庄 (n=689)	240.0	163.6	54.9	8.86	6.04	2.03	29.42	51.86	29.91
唐山 (n=334)	238.6	145.0	59.7	2.75	1.67	0.69	12.32	25.63	7.21
邯郸 (n=725)	226.4	164.3	64.0	8.50	6.17	2.40	34.40	42.05	27.42
邢台 (n=469)	222.0	146.9	65.0	7.61	5.04	2.23	40.53	50.88	29.53
保定 (n=921)	218.7	140.4	53.7	8.45	5.42	2.07	29.81	48.92	23.83
沧州 (n=458)	200.2	136.0	56.7	7.66	5.20	2.17	41.58	73.33	39.23
廊坊 (n=376)	214.9	161.1	60.2	1.43	1.07	0.40	13.22	35.37	15.55
衡水 (n=751)	230.5	152.6	64.4	5.93	3.93	1.66	42.35	46.50	28.29
全省	223.9	151.2	59.8	51.18	34.53	13.64	27.31	42.80	21.43

2.2.3 河北省小麦减肥潜力分析

利用线性加平台模型分析河北省小麦测土配方施肥“氮磷钾 3414 试验”的 3358 组数据, 得到小麦养分适宜用量, N 为 $155.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 为 $117.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O 为 $92.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表2)。与农户养分用量相比, 可节肥 12.58 万 t, 占小麦用肥量的 12.66%。其中可节氮 14.55 万 t、节磷 4.94 万 t, 钾需增加投入 6.91 万 t。小麦可节氮量占小麦用氮量的 28.4%, 占全省氮总用量的 7.8%; 小麦可节磷数量占小麦用磷量的 14.3%, 占全省磷用量的 6.1%。

利用相同方法, 分析河北省不同区域小麦节肥潜力, 结果见表2。其中石家庄市是节肥潜力最大的区域, 可节氮 3.50 万 t、节磷 1.36 万 t; 其次为保定市, 可节氮 2.91 万 t、节磷 0.50 万 t; 再次为沧州市, 可节氮 2.06 万 t、节磷 1.05 万 t。节肥潜力最小的是廊坊市, 可节氮 0.47 万 t、节磷 0.03 万 t。

区域间单位面积节肥潜力也有较大差异。全省

平均节氮潜力为 $68 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 以石家庄市节氮潜力最大, 为 $94.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其次为保定市, 节氮潜力为 $75.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 再次为廊坊市, 为 $70.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 邢台市节氮潜力最小, 为 $42.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。全省平均节磷潜力为 $34 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 石家庄市节磷潜力最大, 为 $37 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 衡水次之, 为 $33.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 节磷潜力最小的为邢台市, 为 $4.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

优化施肥后, 河北省小麦产量能够增加 10.36 万 t, 各市产量增减不一, 以沧州市增产量最大, 为 24.98 万 t, 邯郸市减产最多, 为 13.10 万 t。其中调查产量, 是通过各市调查平均单产乘以各市 2016 年小麦播种面积计算得到。模型模拟产量, 是通过模型计算所得平台单产乘以各市 2016 年小麦播种面积计算得到。由此方法计算得到 2016 年全省调查产量为 1496.81 万 t, 河北农村统计年鉴 2016 年河北省小麦产量为 1433.25 万 t, 两数据相差 4.43%, 说明调查数据与年鉴数据基本吻合, 能够较好地反映实际情况。

表 2 河北省小麦减肥潜力

市区	模型计算小麦养分用量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			小麦减肥潜力 (万 t)			产量 (万 t)		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	调查	模型计算	增减
石家庄 (n=554)	145.2	126.6	81.9	3.50	1.36	-1.00	247.89	243.59	-4.30
唐山 (n=219)	172.5	139.4	115.5	0.76	0.07	-0.64	65.71	68.93	3.22
邯郸 (n=479)	170.8	140.4	102.8	2.09	0.90	-1.46	263.41	250.31	-13.10
邢台 (n=444)	179.1	142.2	91.2	1.47	0.16	-0.90	231.92	233.29	1.37
保定市 (n=532)	143.2	127.5	82.2	2.91	0.50	-1.10	253.25	250.61	-2.64
沧州 (n=554)	146.3	108.5	74.0	2.06	1.05	-0.66	207.30	232.28	24.98
廊坊 (n=228)	144.6	156.2	85.9	0.47	0.03	-0.17	35.35	40.36	5.00
衡水 (n=441)	180.7	119.0	102.7	1.28	0.87	-0.99	191.97	187.80	-4.18
全省	155.9	117.2	92.5	14.55	4.94	-6.91	1496.81	1507.17	10.36

3 讨论

3.1 河北省小麦氮磷钾养分施用现状分析

计算某区域的节肥潜力, 需要明确本区域的施肥现状和推荐施肥量, 本研究利用调查数据和分析 3414 试验结果得到 2 个参数。其中施肥现状通过调查数据获得, 河北省小麦养分用量现状为 N $223.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $151.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $59.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与现有研究差异较大。李红莉等^[20]研究表明河北小麦 2000 年 N、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为 224、135、70 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 2007 年用量为 264.2、114.2、91 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与本调查结果相差不大。王旭等^[21]调查表明黄淮海麦区 2005 ~ 2008 年农民氮磷钾养分平均用量分别为 207、115、60.9 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 本调查结果氮、磷用量高于其调查结果, 钾用量相当。

孙彦铭等^[22]对河北省 2011 ~ 2014 年 894 组农户调查数据分析, 结果表明小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为 242、65、45 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 此结果氮、钾用量与本文相近, 磷用量差异较大。贾良良等^[23]研究认为河北省低平原小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 平均用量分别为 315.2、199.5、173.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 此调查结果远高于本文。河北小麦施肥多为一底一追, 底肥为氮磷钾复混肥, 一般为高氮、高磷、低钾 (例如 20-20-5), 用量 600 ~ 750 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 追肥多为尿素, 用量变异较大, 为 225 ~ 600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3.2 河北省小麦氮磷钾养分适宜用量

本研究从省、市两级区域尺度分析了河北省小麦氮磷钾养分适宜用量。省级尺度小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 适宜用量分别为 155.9、117.2、92.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,

市级尺度小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 适宜用量分别为 143.2 ~ 180.7、108.5 ~ 156.2、74.0 ~ 115.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。此结果与本区域现有研究结果相比, 氮肥推荐用量与杜君等^[12]的 154.95 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、贾良良等^[14]的 164.9 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 研究结果相近, 稍低于 He 等^[7]、沙之敏等^[10]的 180 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 推荐量, 明显低于 Jia 等^[11]的 210 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的推荐量。磷肥推荐用量与杜君等^[12] 129 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 结果相近, 稍高于 He 等^[7] 100 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的推荐用量, 明显高于沙之敏等^[10] 75 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、贾良良等^[14] 77 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的推荐用量。钾肥推荐用量与杜君等^[12] 103.35 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的结果相近, 稍高于 He 等^[7] 75 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、贾良良等^[14] 73.6 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 试验结果, 明显低于沙之敏等^[10] 120 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的研究结果。与同区域李健敏等^[24]在山东的研究结果相比 (N、 P_2O_5 、 K_2O 推荐用量分别为 182.02、82.58 和 83.22 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 本研究得到河北省小麦氮肥推荐量稍低, 磷钾肥推荐量稍高。

3.3 河北省小麦节肥潜力及分析

本研究表明氮磷施用过量、钾肥投入不足是河北省小麦施肥的主要问题。研究明确河北省小麦可节氮 15.74 万 t、节磷 4.94 万 t, 钾肥需要增加投入 6.91 万 t。可节氮、磷量分别占小麦氮、磷施用量的 28.4%、14.3%。氮、磷减施、钾肥增补的结果与河北省土壤肥力变化和农民施肥习惯密切相关。贾良良等^[25]研究表明, 2010 年前后河北省土壤有机质和有效磷含量均大幅度增加。土壤有机质含量从第二次土壤普查的 11.9 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增至 2010 年的 17.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷含量从 1980 年的 6.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增至 2010 年的 24.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。1980 ~ 2000 年, 磷

肥对小麦的增产效应极为显著,施用磷肥就能增产成为农民的经验认知,形成了大量施磷肥的习惯。调查数据中,部分农户磷酸二铵用量 $600 \sim 750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折合 P_2O_5 $276 \sim 345 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。施肥习惯导致肥料选择及用量不合理是磷肥超量的主要原因。河北省冬小麦氮肥投入多为一底一追:底肥用复合肥、磷酸二铵或尿素,追肥用尿素、硫酸铵等,其中追肥超量施用最为严重。调查显示有部分农户追施尿素 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折合 N $276 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),有 68.5% 的农户追施尿素量在 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上 (折合 N $138 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上)。而小麦、玉米大田作物几乎不施用硫酸钾、氯化钾等含钾肥料,只是复混肥中含有钾素营养。人们对钾肥的忽视,导致黑龙港流域近 30 年土壤速效钾含量降低了 18.24%^[26],钾素逐渐成为小麦产量提高的限制因素,与本研究需要增施钾肥的结果相一致。

小麦氮、磷投入过量在山东^[24]、山西^[27]、河南^[28-29]、西北^[30]等麦区均有报道,导致氮磷农学效率降低,养分投入量与小麦产量无显著相关关系^[6]。不同省份研究明确了小麦节肥潜力。李健敏等^[24]研究表明,山东冬小麦氮肥、磷肥分别超 25.60 和 $37.77 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,钾肥亏 $3.84 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。王永亮等^[27]研究表明,山西省小麦节氮潜力为 4.41 万 t,可节氮 26.4%;节磷潜力为 0.82 万 t,可节磷 16.7%。赵亚南等^[28]计算河南冬小麦节氮潜力为 21.8 万 ~ 48.8 万 t,可节氮 16.4% ~ 36.7%。李青松等^[29]分析豫北平原小麦节肥潜力氮素为 31.47% ~ 46.27%、磷素为 38.43% ~ 44.91%、钾素为 -65.23% ~ -59.46%。

综合全国分析来看,冬小麦氮磷过量、钾不足是各麦区的共性问题。应大力推广小麦专用肥,采用“大配方、小调整”的策略,研发适合不同区域的小麦专用底肥,并适当降低肥料中磷含量,提高钾含量;通过技术宣传,引导农民合理追肥,将小麦追氮量降至合理区间。

4 结论

自 2000 年以来,河北省养分用量以 2014 年最高,为 335.6 万 t,2016 年呈现下降趋势,与 2014 年相比下降了 1.1%。3 种养分中以氮所占比率最高,为 56.49% ~ 63.21%,呈逐年下降趋势;磷所占比率居中,维持在 24% 左右;钾所占比率最小,为 13.44% ~ 19.19%,呈逐年上升趋势。

河北省小麦养分用量现状为 N $223.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $151.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $59.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,2016 年河北省小麦 N 用量 51.18 万 t、 P_2O_5 用量 34.53 万 t、 K_2O 用量 13.64 万 t。氮用量石家庄最高 ($240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、沧州最低 ($200.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);磷用量邯郸最高 ($164.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),沧州最低 ($136 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

河北省小麦养分推荐用量为 N $155.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $117.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $92.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,总计可节肥 12.58 万 t。其中可节氮 14.55 万 t、节磷 4.94 万 t,钾需增加投入 6.91 万 t。石家庄市节氮、节磷潜力最大,分别为 94.8 、 $37 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。邢台市节氮、节磷潜力最小,分别为 42.9 、 $4.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 金继运,李家康,李书田.化肥与粮食安全[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):601-609.
- [2] 李书田,金继运.中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J].中国农业科学,2011,44(20):4207-4229.
- [3] 刘朝阳,段英华,杨莉,等.河北省农田土壤养分平衡现状研究[J].中国农学通报,2014,30(9):170-174.
- [4] 李玲,段英华,徐明岗,等.河北省不同利用方式农田土壤氮磷环境风险分析[J].中国农业资源与区划,2016,37(7):96-100,149.
- [5] Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Development of regional nitrogen rate guidelines for intensive cropping systems in China [J]. Agronomy Journal, 2013, 105 (5): 1411-1416.
- [6] 曹寒冰,王朝辉,赵护兵,等.基于产量的渭北旱地小麦施肥评价及减肥潜力分析[J].中国农业科学,2017,50(14):2758-2768.
- [7] He P, Li S T, Jin J Y, et al. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-Central China [J]. Agronomy Journal, 2009, 101 (6): 1489-1496.
- [8] 李升东,张卫峰,王法宏,等.施氮量对小麦氮素利用的影响[J].麦类作物学报,2016,36(2):223-230.
- [9] 张卫峰,马林,黄高强,等.中国氮肥发展、贡献和挑战[J].中国农业科学,2013,46(15):3161-3171.
- [10] 沙之敏,边秀举,郑伟,等.最佳养分管理对华北冬小麦养分吸收和利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1049-1055.
- [11] Jia S L, Wang X B, Yang Y M, et al. Fate of labeled urea- ^{15}N as basal and topdressing applications in an irrigated wheat-maize rotation system in North China Plain: I winter wheat [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 90: 331-346.
- [12] 杜君,白由路,杨俐苹,等.养分平衡法在冬小麦测土推荐施肥中的应用研究[J].中国土壤与肥料,2012(1):7-13.
- [13] Zhang Y T, Wang H Y, Lei Q L, et al. Optimizing the nitrogen application rate for maize and wheat based on yield and

- environment on the Northern China Plain [J]. Science of the Total Environment, 2018, 618: 1173–1183.
- [14] 贾良良, 杨军芳, 孙彦铭, 等. 小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017 (5): 51–55.
- [15] 河北省统计局. 河北农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003–2018.
- [16] 中国种植业管理司-农作物数据库[DB/OL]. <http://202.127.42.157/moazzys/nongqing.aspx>.
- [17] 杨帆, 孟远夺, 姜义, 等. 2013 年我国种植业化肥施用状况分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (1): 217–225.
- [18] Chen X P, Zhou J C, Wang X R, et al. Optimal rates of nitrogen fertilization for a winter wheat-corn cropping system in Northern China [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2004, 35 (3–4): 583–597.
- [19] 贾良良, 陈新平, 张福锁, 等. 北京市冬小麦氮肥适宜用量评价方法的研究[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6 (3): 67–73.
- [20] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (5): 1136–1143.
- [21] 王旭, 李贞宇, 马文奇, 等. 中国主要生态区小麦施肥增产效应分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43 (12): 2469–2476.
- [22] 孙彦铭, 黄少辉, 杨振立, 等. 河北平原冬小麦、夏玉米农田基础产量和地力贡献率分析[J]. 中国土壤与肥料, 2018 (1): 153–158.
- [23] 贾良良, 刘克桐, 孙彦铭, 等. 河北省低平原区近 16 年来农田施肥量、作物产量和养分效率的变化特征[J]. 中国土壤与肥料, 2017 (3): 50–55.
- [24] 李健敏, 赵庚星, 李涛, 等. 山东省小麦施肥特征与评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51 (12): 2322–2335.
- [25] 贾良良, 孙彦铭, 刘克桐, 等. 河北省不同生态区农田土壤肥力现状及变化特征[J]. 土壤通报, 2018, 49 (2): 367–376.
- [26] 贾良良, 刘克桐, 杨云马, 等. 近 30 a 河北省低平原区黑龙港流域农田土壤肥力演变[J]. 河北农业科学, 2016, 20 (3): 41–43, 48.
- [27] 王永亮, 王琦, 杨治平, 等. 山西省主要粮食作物节肥增产潜力研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33 (8): 84–90.
- [28] 赵亚南, 徐霞, 黄玉芳, 等. 河南省小麦、玉米氮肥需求及节氮潜力[J]. 中国农业科学, 2018, 51 (14): 2747–2757.
- [29] 李青松, 韩燕来, 邓素君, 等. 豫北平原典型小麦-玉米轮作高产区节肥潜力分析[J]. 麦类作物学报, 2018, 38 (10): 1216–1221.
- [30] 赵护兵, 王朝辉, 高亚军, 等. 西北典型区域旱地冬小麦农户施肥调查分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (4): 840–848.

Analysis of wheat fertilizer reduction potential in Hebei province

YANG Yun-ma, HUANG Shao-hui, YANG Jun-fang, JIA Liang-liang* (Institute of Agricultural Resources and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Science; Hebei Fertilizer Technology Innovation Center, Shijiazhuang Hebei 050051)

Abstract: Using statistical data, the dynamic changes of nitrogen, phosphorus and potassium nutrient application in Hebei province were analyzed from 2000 to 2016. With the test results from the wheat fertilization project of “NPK-3414-experiments” ($n = 3358$), a further analysis was conducted to achieve the appropriate amount of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients and the potential of fertilizer reduction in wheat. The results showed that the maximum amount of nutrients consumption in Hebei province was 335.6×10^4 t which occurred in 2014, after then showed a downward trend. The investigation data showed that the current application rates of N, P_2O_5 and K_2O of wheat were 223.9, 151.2 and 59.8 $kg \cdot hm^{-2}$ in Hebei province. In addition, the optimal N, P_2O_5 and K_2O rates of wheat in Hebei province should be 155.9, 117.2 and 92.5 $kg \cdot hm^{-2}$, respectively, through a linear with plateau model analysis. There had a huge fertilizer reduction potential of 12.58×10^4 t from the current farmers practice to the optimal fertilizer application rate. Among which, nitrogen fertilizer could be reduced by 14.55×10^4 t (accounting for 28.4% of total nitrogen consumption of wheat); phosphorus fertilizer could be reduced by 4.94×10^4 t (accounting for 28.4% of total phosphorus fertilizer consumption of wheat); potassium consumption needed to increase by 6.91×10^4 t. The maximum fertilizer reduction potential city was Shijiazhuang city, while the minimum was Xingtai city.

Key words: Hebei province; wheat; nitrogen, phosphorus and potassium; fertilizer reduction potential