

## 黑龙江省黑土区大豆测土配方施肥指标体系的建立

孙景玲<sup>1</sup>, 魏丹<sup>2</sup>, 马星竹<sup>2</sup>, 刘德志<sup>3</sup>, 郭文义<sup>4</sup>, 刘晓莉<sup>1</sup>, 鹿文成<sup>1</sup>

(黑龙江省农业科学院 黑河分院, 黑龙江 黑河 164300; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省土壤肥料管理站, 黑龙江 哈尔滨 150036; 4. 沈阳军区空军后勤部克东农副业生产基地, 黑龙江 克山 161000)

**摘要:**为了探究黑龙江省黑土区大豆推荐施肥量,通过多年多点的“3414”田间试验数据统计分析,初步建立了该区测土配方施肥指标体系。结果表明:(1)土壤氮素(碱解氮)以相对产量75%、80%、85%和90%,磷素(有效磷)和钾素(速效钾)以相对产量75%、85%、90%和95%为界限划分为低、较低、中、较高和高5个肥力等级;(2)各肥力等级的最佳施肥量:N为41.7~43.4,36.3~41.7,28.4~36.3,26.1~28.4和0~26.1 kg·hm<sup>-2</sup>;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为51.0~62.0,47.7~51.0,38.9~47.7,33.9~38.9和0~33.9 kg·hm<sup>-2</sup>;K<sub>2</sub>O为55.4~64.1,51.2~55.4,43.2~51.2,35.4~43.2和0~35.4 kg·hm<sup>-2</sup>;(3)各肥力等级最佳施肥量比不施肥分别增收:N为1 270.6~1 387.6,681.9~1 270.6,357.3~681.9,279.9~357.3和0~279.9元·hm<sup>-2</sup>;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为856.9~1 101.3,729.3~856.9,347.6~729.3,221.2~347.6和0~221.2元·hm<sup>-2</sup>;K<sub>2</sub>O为444.1~739.5,382.1~444.1,266.2~382.1,184.6~266.2和0~184.6元·hm<sup>-2</sup>;(4)最佳施肥量农学利用率:N为9.5~9.9,6.3~9.5,4.7~6.3,4.2~4.7和0~4.2;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为6.1~6.3,5.6~6.1,3.9~5.6,3.3~3.9和0~3.3;K<sub>2</sub>O为4.0~4.9,3.8~4.0,3.4~3.8,3.2~3.4和0~3.2。

**关键词:**大豆;“3414”肥料试验;施肥量;产量;经济效益

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)04-0512-05

## Establishing Fertilization Recommendation Index of Soybean in Black Soil Region of Heilongjiang Province

SUN Jing-ling<sup>1</sup>, WEI Dan<sup>2</sup>, MA Xing-zhu<sup>2</sup>, LIU De-zhi<sup>3</sup>, GUO Wen-yi<sup>4</sup>, LIU Xiao-li<sup>1</sup>, LU Wen-cheng<sup>1</sup>

(1. Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China; 2. Soil Fertilizer and Environment Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Heilongjiang Fertility Management Center, Harbin 150036, China; 4. Kedong Production Base of Farm and Sideline, The Logistics Department of Air Forces of Shenyang Military Command, Keshan 161000, China)

**Abstract:** In order to explore the fertilizer recommendation of soybean cropping system in the black soil area of the Northeast China, Heilongjiang Province, fertilization index system were established according to the ‘3414’ fertilizer trails which carried out in many locations for many years. The results showed as follows: (1) Soil fertility level were divided 5 grades of low, relatively low, middle, relatively high and high, based on the relative soybean seed yield of 75%, 80%, 85% and 90% for available nitrogen, and 75%, 85%, 90% and 95% for available phosphorus and potassium, respectively. (2) The optimum amount of fertilization of different fertility grades from low to high were 41.7-43.4, 36.3-41.7, 28.4-36.3, 26.1-28.4 and 0-26.1 kg·ha<sup>-1</sup> for N, 51.0-62.0, 47.7-51.0, 38.9-47.7, 33.9-38.9 and 0-33.9 kg·ha<sup>-1</sup> for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 55.4-64.1, 51.2-55.4, 43.2-51.2, 35.4-43.2 and 0-35.4 kg·ha<sup>-1</sup> for K<sub>2</sub>O. (3) The increase income of different fertility grades were 1 270.6-1 387.6, 681.9-1 270.6, 357.3-681.9, 279.9-357.3, 0-279.9 yuan·ha<sup>-1</sup> for pure N; 856.9-1 101.3, 729.3-856.9, 347.6-729.3, 221.2-347.6 and 0-221.2 yuan·ha<sup>-1</sup> for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; and 444.1-739.5, 382.1-444.1, 266.2-382.1, 184.6-266.2 and 0-184.6 yuan·ha<sup>-1</sup> for K<sub>2</sub>O. (4) The agronomic efficiency of the optimum recommended fertilizer rate were 9.5-9.9, 6.3-9.5, 4.7-6.3, 4.2-4.7 and 0-4.2 for N; 6.1-6.3, 5.6-6.1, 3.9-5.6, 3.3-3.9 and 0-3.3 for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; and 4.0-4.9, 3.8-4.0, 3.4-3.8, 3.2-3.4 and 0-3.2 for K<sub>2</sub>O.

**Key words:** Soybean; ‘3414’ fertilizer experiment; Fertilizer rate; Yield; Economic efficiency

黑龙江省大豆生产水平直接关系到国家大豆产业的发展,如何保证黑龙江省大豆的生产能力,提高大豆产量的同时实现土地资源、生态环境的可持续利用是当前的重要课题。黑龙江省黑土面积占全省各类型土壤总面积的31%,研究适合黑土区大豆生产土壤特点的施肥量,能够为进一步推进测

土配方施肥的开展、制定大豆施肥方案及建立施肥分区等提供理论依据和实践参考。

全国测土配方施肥工作首选肥料效应田间试验为“3414”试验,根据“3414”方案田间试验结果建立当地主要作物的肥料效应函数,可直接获得某一区域、某种作物的氮、磷、钾肥料的最佳施用量,为

收稿日期:2013-03-05

基金项目:国家大豆产业技术体系2013年度重点任务(CARS-04-CES01);公益性行业(农业)科研专项(201303126);黑龙江省科技支撑计划(GC12B102)。

第一作者简介:孙景玲(1981-),女,硕士,研究实习员,主要从事土壤肥料研究。E-mail:sunjingling0@163.com。

通讯作者:魏丹(1965-),女,研究员,主要从事土壤肥料研究。E-mail:wd2087@163.com。

肥料配方和施肥推荐提供依据。多年多点的试验结果能有效提高试验结果的可靠性和真实性,2006~2008年黑龙江省黑土区的“3414”施肥试验涉及8个测土配方施肥项目地级市共18个市县,现对这些试验结果进行统计分析,以期初步建立黑土类型区大豆测土配方施肥指标体系。

1 材料与方法

1.1 试验设计

“3414”完全实施试验按农业部《测土配方施肥技术规范》设计。“3414”是指氮、磷、钾3个因素、4个水平、14个处理。4个水平的含义:0水平指不施肥,2水平指当地推荐施肥量,1水平(施肥不足)=2水平×0.5,3水平(过量施肥)=2水平×1.5。14

个处理分别为:1、N0P0K0,2、N0P2K2,3、N1P2K2,4、N2P0K2,5、N2P1K2,6、N2P2K2,7、N2P3K2,8、N2P2K0,9、N2P2K1,10、N2P2K3,11、N3P2K2,12、N1P1K2,13、N1P2K1,14、N2P1K1。试验区域内各县(市)大豆“3414”完全实施试验2水平的氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)肥用量根据当地实际情况确定为45,60,75 kg·hm<sup>-2</sup>。

试验涵盖了黑土类型区低、中、高不同肥力地点共188个,统计过程中舍弃了个别试验点中相对产量大于100%、相对产量很高而土壤测值过低以及相对产量很低而土壤测值过高<sup>[1]</sup>等理论与实际不符的数据。其中较合理的样本数:缺氮区71个,缺磷区90个,缺钾区84个,具体试验点分布如表1所示。

表1 黑龙江省黑土区大豆“3414”养分分级试验点统计  
Table 1 Statistics of ‘3414’ experimental sites of soybean soil nutrient grades for the black soil region of Heilongjiang province

地级市 Cities	养分分级试验点数量和地区分布 Experimental sites and regional distribution of different soil nutrient grades		
	氮素(碱解氮) Nitrogen( Available N)	磷素(有效磷) Phosphorus( Available P)	钾素(速效钾) Potassium( Available K)
齐齐哈尔 Qiqihar	7	17	17
双鸭山 Shuangyashan	2	5	1
哈尔滨 Harbin	10	10	12
七台河 Qitaihe	6	6	7
佳木斯 Jiamusi	12	7	3
绥化 Suihua	31	40	38
黑河 Heihe	2	3	4
鹤岗 Hegang	1	2	2
总计 Total	71	90	84

1.2 测定项目与方法

大豆播种前及收获后采集土壤样品,采样深度为0~20 cm,“S”形布点采样并多点混合,每个样点由15~20个分点混合而成,四分法保留1 kg左右,风干后过2 mm孔径土壤筛保存备用,测定碱解氮(采用碱解扩散法)、有效磷(采用碳酸氢钠或氟化铵-盐酸浸提——钼锑抗比色法)、速效钾(采用乙酸铵浸提——火焰光度计、原子吸收分光光度计法或ICP法)。成熟后各小区实收计产。

1.3 数据分析

在查阅文献资料的基础上,采用养分丰缺指标法,利用Excell 2003、DPS v7.05及农业部“3414”测土配方施肥数据管理系统软件对黑龙江省大豆“3414”肥料试验数据进行汇总统计分析。

1.3.1 土壤养分分级指标的建立 依据“3414”试

验的大豆产量和土壤速效养分测试结果,将缺素区产量与方案中2水平养分全量区产量相比较以计算相对产量,如:缺氮的相对产量=(处理N0P2K2/处理N2P2K2)×100%,以对数方程获得相对产量与对应土壤速效养分含量之间的数学关系式。方程经检验达到极显著水平后,将各养分分级界限的相对产量代入关系式,计算出对应的土壤养分含量,即可得到分土壤养分分级指标。按照农业部《测土配方施肥技术规范》以50%、75%、90%、95%进行养分分级时,个别养分等级内集中一半以上的数据,有的级别内甚至没有数据,无法得到适合黑龙江黑土区的养分分级指标,因此在参考前人工作<sup>[2-5]</sup>的基础上,结合本区土壤实际情况,将氮素养分分级以相对产量75%、80%、85%、90%、磷钾以相对产量75%、85%、90%、95%为分级界限,参考

戟林等<sup>[3]</sup>的分级命名,将黑土区土壤划分为低、较低、中、较高、高5个等级,力求做到各养分级别均有一定代表性试验数据,得到符合黑土区实际情况的养分分级标准。

1.3.2 氮磷钾肥推荐施肥量的确定 推荐施肥与施肥模型的选择有密切关系,由于前期利用三元二次肥料模型统计的推荐施肥量普遍偏高,且方程拟合的成功率低<sup>[3,6-7]</sup>,故本次分析以采用一元二次方程为主。通过边际分析确定施肥量,边际效应为0时求得最高施肥量,边际效应等于投入价格与产出价格之比时求得最佳施肥量。同时对所得的推荐施肥量高于最高施肥量的点,设定试验最高施肥量为最佳施肥量,对于拟合均不成功且增产效果不明显的点,设定最佳施肥量为0或根据当地实际情况施肥<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 养分分级指标体系的建立

2.1.1 氮素养分分级指标体系的建立 对较合理的71个缺氮区相对产量与( $Y$ )土壤碱解氮含量( $x$ )进行拟合,所得对数方程为 $Y = 18.613 \ln(x) - 17.762$ ,相关系数为0.7028,经检验达到极显著水平,土壤碱解氮含量和土壤供氮能力呈非线性正相关(表2)。养分分级中土壤碱解氮含量最小值为

146.26  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,最大值为327.82  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,以相对产量75%、80%、85%、90%为划分标准,通过方程求得相对应的碱解氮含量值,将土壤供氮能力划分为低( $< 146.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、较低(146.26 ~ 191.41  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、中(191.41 ~ 250.50  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、较高(250.50 ~ 327.82  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、高( $> 327.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )共5级。以此为分界限能够使71个试验点的数据较均匀分布在各个养分等级内,数据比例分别为15.5%、29.6%、29.6%、21.1%和4.2%。

2.1.2 磷素养分分级指标体系的建立 对较合理的90个缺磷区相对产量( $Y$ )与土壤速效磷含量( $x$ )进行拟合,所得对数方程为 $Y = 14.023 \ln(x) + 40.181$ ,相关系数为0.7071,经检验达到极显著水平,土壤速效磷含量和土壤供磷能力呈非线性正相关(表2)。养分分级中土壤速效磷含量最小值为11.98  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,最大值为49.86  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,以相对产量75%、85%、90%、95%为划分标准,通过方程求得相对应的速效磷含量值,将土壤供磷能力划分为低( $< 11.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、较低(11.98 ~ 24.44  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、中(24.44 ~ 34.91  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、较高(34.91 ~ 49.86  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、高( $> 49.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )共5级。以此为分界限使90个试验点的数据较均匀分布在各个养分等级内,数据比例分别为5.6%、28.9%、35.6%、27.8%和2.2%。

表2 黑龙江省大豆黑土区土壤养分分级

Table 2 Classification of soybean soil nutrient of black soil region in Heilongjiang province

养分分级		缺氮相对产量	养分含量	数据比例	相关方程	R 检验	样本数
Nutrient grades		Relative yield/%	Nutrient content/mg·kg <sup>-1</sup>	Proportion/%	Correlation equations	R-test	Samples
氮 N	低 L	<75%	<146.26	15.5	Y = 18.613ln(x) - 17.762	0.7028 **	71
	较低 RL	75% ~ 80%	146.26 ~ 191.41	29.6			
	中 M	80% ~ 85%	191.41 ~ 250.50	29.6			
	较高 RH	85% ~ 90%	250.50 ~ 327.82	21.1			
	高 H	>90%	>327.82	4.2			
磷 P	低 L	<75%	<11.98	5.6	Y = 14.023 ln(x) - 17.762	0.7071 **	90
	较低 RL	75% ~ 85%	11.98 ~ 24.44	28.9			
	中 M	85% ~ 90%	24.44 ~ 34.91	35.6			
	较高 RH	90% ~ 95%	34.91 ~ 49.86	27.8			
	高 H	>95%	>49.86	2.2			
钾 K	低 L	<75%	<108.64	14.3	Y = 14.023 ln(x) - 17.762	0.7612 **	84
	较低 RL	75% ~ 85%	108.64 ~ 155.30	19.0			
	中 M	85% ~ 90%	155.30 ~ 185.67	35.7			
	较高 RH	90% ~ 95%	185.67 ~ 221.98	27.4			
	高 H	>95%	>221.98	3.6			

\*\* 表示方程经显著性检验达到极显著水平( $P < 0.01$ )。下同。

\*\* means the equation by R-test reaching extremely significant level( $P < 0.01$ ). The same below.

2.1.3 钾素养分分级指标体系的建立 对较合理的 84 个缺钾区相对产量( $Y$ )与土壤速效钾含量( $x$ )进行拟合,所得对数方程为  $Y=27.99\ln(x)-56.219$ , 相关系数为 0.761 2,经检验达到极显著水平,土壤速效钾含量和土壤供钾能力呈非线性正相关(表 2)。养分分级中土壤速效钾含量最小值为  $108.64\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,最大值为  $221.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,以相对产量 75%、85%、90%、95% 为划分标准,通过方程求得相对应的速效钾含量值,将土壤供钾能力划分为低( $<108.64\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、较低( $108.64\sim155.30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、中( $155.30\sim185.67\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、较高( $185.67\sim221.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、高( $>221.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )共 5 级。以此为分界限能够使 84 个试验点的数据较均匀分布在各个养分等级内,数据比例分别为 14.3%、

19.0%、35.7%、27.4% 和 3.6%。

2.2 施肥指标体系的建立

通过养分分级后,黑龙江省黑土区大豆的“3414”试验点数据被划分到各个养分等级内,对各养分级别内的每个试验点数据进行施肥量和产量的一元二次方程拟合,得到各个养分分级内的平均推荐施肥量、产量和肥料效应方程(表 3)。其中推荐的最佳和最大施肥量均由养分分级中的高等级向低等级递减,最高为 0,最佳和最大施肥量的产量也由高等级向低等级的顺序计算,施肥量为 0 时的产量根据肥料效应方程计算得到。施肥量整体表现为最佳施肥量均低于最大施肥量,但其产量均高于最大施肥量。不同肥力等级施肥量比较,均表现为低等肥力高于高等肥力。

表 3 氮、磷和钾素推荐施肥量及肥料效应方程  
Table 3 The recommended fertilizer amount and fertilizer response equation of nitrogen,phosphorus and potassium nutrients

养分分级 Nutrient grades		最佳施肥量		最大施肥量		肥料效应方程 Fertilizer response equation
		Optimum fertilization rate		Maximum fertilization rate		
		施肥量 Fertilization rate/kg·hm <sup>-2</sup>	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	施肥量 Fertilization rate/kg·hm <sup>-2</sup>	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	
氮 N	低 L	41.7 ~ 43.4	2203.6 ~ 2161.5	44.9 ~ 46.6	2205.6 ~ 2163.6	Y = 1731.4 + 18.55N - 0.20N <sup>2</sup>
	较低 RL	36.3 ~ 41.7	2221.9 ~ 2203.6	40.9 ~ 44.9	2224.8 ~ 2205.6	Y = 1807.2 + 17.74N - 0.20N <sup>2</sup>
	中 M	28.4 ~ 36.3	2273.3 ~ 2221.9	33.7 ~ 40.9	2276.7 ~ 2224.8	Y = 1991.5 + 11.42N - 0.14N <sup>2</sup>
	较高 RH	26.1 ~ 28.4	2389.9 ~ 2273.3	31.8 ~ 33.7	2393.5 ~ 2276.7	Y = 2140.8 + 8.08N - 0.12N <sup>2</sup>
	高 H	0 ~ 26.1	2281.1 ~ 2389.9	0 ~ 31.8	2281.1 ~ 2393.5	Y = 2281.1 + 7.07N - 0.11N <sup>2</sup>
磷 P	低 L	51.0 ~ 62.0	2187.3 ~ 2128.1	59.5 ~ 71.9	2193.7 ~ 2132.6	Y = 1736.6 + 11.02P - 0.09P <sup>2</sup>
	较低 RL	47.7 ~ 51.0	2334.2 ~ 2187.3	56.4 ~ 59.5	2340.8 ~ 2193.7	Y = 1878.6 + 10.60P - 0.09P <sup>2</sup>
	中 M	38.9 ~ 47.7	2385.5 ~ 2334.2	51.2 ~ 56.4	2394.8 ~ 2340.8	Y = 2064.9 + 9.78P - 0.09P <sup>2</sup>
	较高 RH	33.9 ~ 38.9	2800.8 ~ 2385.5	48.5 ~ 51.2	2811.8 ~ 2394.8	Y = 2232.7 + 6.34P - 0.06P <sup>2</sup>
	高 H	0 ~ 33.9	2689.7 ~ 2800.8	0 ~ 48.5	2689.7 ~ 2811.8	Y = 2689.7 + 5.04P - 0.05P <sup>2</sup>
钾 K	低 L	55.4 ~ 64.1	2314.3 ~ 2300.0	78.2 ~ 82.4	2334.6 ~ 2316.3	Y = 1985.9 + 8.02K - 0.05K <sup>2</sup>
	较低 RL	51.2 ~ 55.4	2343.8 ~ 2314.3	73.8 ~ 78.2	2364.0 ~ 2334.6	Y = 2095.4 + 6.12K - 0.04K <sup>2</sup>
	中 M	43.2 ~ 51.2	2403.4 ~ 2343.8	66.3 ~ 73.8	2424.0 ~ 2364.0	Y = 2149.3 + 5.82K - 0.04K <sup>2</sup>
	较高 RH	35.4 ~ 43.2	2488.6 ~ 2403.4	57.8 ~ 66.3	2508.6 ~ 2424.0	Y = 2254.4 + 5.12K - 0.04K <sup>2</sup>
	高 H	0 ~ 35.4	2375.6 ~ 2488.6	0 ~ 57.8	2375.6 ~ 2508.6	Y = 2375.6 + 4.60K - 0.04K <sup>2</sup>

L,RL,M,RH and H represents nutrient grade of low,relative low,middle,relative high and high,respectively. The same bellow.

2.3 经济效益和肥料农学利用率分析

对各养分级别内的推荐施肥量分别做进一步分析,计算其增产量、增收量及农学利用率(表 4)。其中增产量及增收情况均是相较于不施肥处理而言的,肥料及大豆的价格是参考 2006 ~ 2008 年的市

场价格的平均值。氮、磷、钾各肥力等级的大豆增产量、增收及农学利用率相比较,均表现出低等肥力高于高等肥力,说明施肥对低等肥力的增产、增收效果最为明显,肥料的农学利用率也均以低等肥力为最高。

表4 最佳及最大施肥量的经济效益及农学利用率

Table 4 The economic benefit and agronomic efficiency of the maximum and optimum recommended fertilizer amount

养分分级 Nutrient grade		最佳施肥量 OFR			最大施肥量 MFR		
		增产量	增收	农学利用率	增产量	增收	农学利用率
		YI/kg·hm <sup>-2</sup>	II/Yuan·hm <sup>-2</sup>	AE	YI/kg·hm <sup>-2</sup>	II/Yuan·hm <sup>-2</sup>	AE
氮 N	低 L	396.4 ~ 430.2	1270.6 ~ 1387.6	9.5 ~ 9.9	398.4 ~ 432.2	1263.0 ~ 1380.2	8.9 ~ 9.3
	较低 RL	230.4 ~ 396.4	681.9 ~ 1270.6	6.3 ~ 9.5	233.3 ~ 398.4	671.2 ~ 1263.0	5.7 ~ 8.9
	中 M	132.6 ~ 230.4	357.3 ~ 681.9	4.7 ~ 6.3	135.9 ~ 233.3	344.8 ~ 671.2	4.0 ~ 5.7
	较高 RH	108.8 ~ 132.6	279.9 ~ 357.3	4.2 ~ 4.7	112.4 ~ 135.9	266.5 ~ 344.8	3.5 ~ 4.0
	高 H	0 ~ 108.8	0 ~ 279.9	0 ~ 4.2	0 ~ 112.4	0 ~ 266.5	0 ~ 3.5
磷 P	低 L	308.7 ~ 391.5	856.9 ~ 1101.3	6.1 ~ 6.3	315.1 ~ 396.0	833.1 ~ 1062.1	5.3 ~ 5.5
	较低 RL	269.3 ~ 308.7	729.3 ~ 856.9	5.6 ~ 6.1	275.9 ~ 315.1	704.9 ~ 833.1	4.9 ~ 5.3
	中 M	152.9 ~ 269.3	347.6 ~ 729.3	3.9 ~ 5.6	162.1 ~ 275.9	313.4 ~ 704.9	3.2 ~ 4.9
	较高 RH	111.2 ~ 152.9	221.2 ~ 347.6	3.3 ~ 3.9	122.2 ~ 162.1	180.4 ~ 313.4	2.5 ~ 3.2
	高 H	0 ~ 111.2	0 ~ 221.2	0 ~ 3.3	0 ~ 122.2	0 ~ 180.4	0 ~ 2.5
钾 K	低 L	218.9 ~ 314.1	444.1 ~ 739.5	4.0 ~ 4.9	239.2 ~ 330.4	368.9 ~ 679.1	3.1 ~ 4.0
	较低 RL	194.5 ~ 218.9	382.1 ~ 444.1	3.8 ~ 4.0	214.7 ~ 239.2	307.5 ~ 368.9	2.9 ~ 3.1
	中 M	149.0 ~ 194.5	266.2 ~ 382.1	3.4 ~ 3.8	169.6 ~ 214.7	189.9 ~ 307.5	2.6 ~ 2.9
	较高 RH	113.0 ~ 149.0	184.6 ~ 266.2	3.2 ~ 3.4	133.0 ~ 169.6	110.6 ~ 189.9	2.3 ~ 2.6
	高 H	0 ~ 113.0	0 ~ 184.6	0 ~ 3.2	0 ~ 133.0	0 ~ 110.6	0 ~ 2.3

表中大豆、纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 的参考价格分别为 3.7、4.7、5.6 和 6.6 元·kg<sup>-1</sup>；推荐施肥量中氮为纯 N，磷为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>，钾为 K<sub>2</sub>O。

The reference prices of soybean of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O are 3.7, 4.7, 5.6 and 6.6 RMB Yuan·kg<sup>-1</sup> in the table. Fertilizer type of nitrogen, phosphorous and potassium is pure nitrogen, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O in the recommended fertilizer amount. OFR: optimum fertilization rate; MFR: maximum fertilization rate; YI: yield increase; II: income increase; AE: agronomy efficiency.

### 3 结 论

#### (1) 养分丰缺指标体系的建立

氮素以相对产量 75%、80%、85%、90% 将土壤供氮能力划分为低 (< 146.26 mg·kg<sup>-1</sup>)、较低 (146.26 ~ 191.41 mg·kg<sup>-1</sup>)、中 (191.41 ~ 250.50 mg·kg<sup>-1</sup>)、较高 (250.50 ~ 327.82 mg·kg<sup>-1</sup>)、高 (> 327.82 mg·kg<sup>-1</sup>) 共 5 级。磷、钾以相对产量 75%、85%、90%、95% 为分级界限，磷划分为低 (< 11.98 mg·kg<sup>-1</sup>)、较低 (11.98 ~ 24.44 mg·kg<sup>-1</sup>)、中 (24.44 ~ 34.91 mg·kg<sup>-1</sup>)、较高 (34.91 ~ 49.86 mg·kg<sup>-1</sup>)、高 (> 49.86 mg·kg<sup>-1</sup>)；钾划分为低 (< 108.64 mg·kg<sup>-1</sup>)、较低 (108.64 ~ 155.30 mg·kg<sup>-1</sup>)、中 (155.30 ~ 185.67 mg·kg<sup>-1</sup>)、较高 (185.67 ~ 221.98 mg·kg<sup>-1</sup>)、高 (> 221.98 mg·kg<sup>-1</sup>) 各 5 个等级。

#### (2) 不同养分等级的推荐施肥量

各肥力等级的最佳施肥量：N 为 41.7 ~ 43.4, 36.3 ~ 41.7, 28.4 ~ 36.3, 26.1 ~ 28.4 和 0 ~ 26.1 kg·hm<sup>-2</sup>；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 51.0 ~ 62.0, 47.7 ~ 51.0, 38.9 ~ 47.7, 33.9 ~ 38.9 和 0 ~ 33.9 kg·hm<sup>-2</sup>；K<sub>2</sub>O 为 55.4 ~ 64.1, 51.2 ~ 55.4, 43.2 ~ 51.2, 35.4 ~ 43.2 和 0 ~ 35.4 kg·hm<sup>-2</sup>。

#### (3) 推荐施肥量下的产值及农学利用率

各肥力等级最佳施肥量比不施肥分别增收 N 为 1 270.6 ~ 1 387.6, 681.9 ~ 1 270.6, 357.3 ~ 681.9, 279.9 ~ 357.3 和 0 ~ 279.9 元·hm<sup>-2</sup>；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 856.9 ~ 1 101.3, 729.3 ~ 856.9, 347.6 ~ 729.3, 221.2 ~ 347.6 和 0 ~ 221.2 元·hm<sup>-2</sup>；K<sub>2</sub>O 为 444.1 ~ 739.5, 382.1 ~ 444.1, 266.2 ~ 382.1, 184.6 ~ 266.2 和 0 ~ 184.6 元·hm<sup>-2</sup>。最佳施肥量农学利用率：N 为 9.5 ~ 9.9, 6.3 ~ 9.5, 4.7 ~ 6.3, 4.2 ~ 4.7 和 0 ~ 4.2；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为

6.1 ~ 6.3, 5.6 ~ 6.1, 3.9 ~ 5.6, 3.3 ~ 3.9 和 0 ~ 3.3；K<sub>2</sub>O 为 4.0 ~ 4.9, 3.8 ~ 4.0, 3.4 ~ 3.8, 3.2 ~ 3.4 和 0 ~ 3.2。

### 参考文献

- [1] 张连云. 基于“3414”试验的土壤氮磷钾丰缺指标制定与应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008; 10. (Zhang L Y. Studies on abundance and deficiency index of nitrogen, phosphorus and potassium for the soil based on the experiment of ‘3414’ [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008; 10.)
- [2] 王志刚, 高强, 冯国忠. 吉林省大豆施肥指标体系初步建立[J]. 大豆科学, 2010, 29(4): 669-672. (Wang Z G, Gao Q, Feng G Z. Preliminary raising fertilization index system for soybean in Jilin province [J]. Soybean Science, 2010, 29(4): 669-672.)
- [3] 戢林, 张锡洲, 李廷轩. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 84-92. (Ji L, Zhang X Z, Li T X. Establishing fertilization recommendation index of paddy soil based on the ‘3414’ field experiments in the middle of Sichuan Hilly regions [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(1): 84-92.)
- [4] 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. (Sun Y X, Guo Y S, Yu S Z, et al. Establishing phosphorus and potassium fertilization recommendation index based on the ‘3414’ field experiment [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(1): 197-203.)
- [5] Fageria N K, Baligar V C, Jones C A. Growth and mineral nutrition of field crops [M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997: 83-134.
- [6] 姜春荣, 董环, 王秀娟, 等. 辽宁省花生“3414”肥料试验施肥模型探讨[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 892-895. (Lou C R, Dong H, Wang X J, et al. A study on peanut simulation of ‘3414’ fertilizer experiments in Liaoning [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(4): 892-895.)
- [7] 王圣瑞, 陈新平, 高祥照, 等. “3414”肥料试验模型拟合的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 409-413. (Wang S R, Chen X P, Gao X Z, et al. Study on simulation of ‘3414’ fertilizer experiments [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 409-413.)