

芥菜氮磷钾肥效及其施肥指标研究

姚建族

(福建省永春县土壤肥料技术站, 福建 永春 362600)

摘要: 通过田间试验研究芥菜氮磷钾肥效及其施肥指标。试验结果表明, 土壤对芥菜产量的平均贡献率只有 26.3%, 施用氮、磷、钾肥平均分别增产 55.5%、14.1% 和 15.3%, 平均产投比分别为 36.9、21.3 和 12.2, 表明芥菜施用氮磷钾肥料具有显著的增产增收效果。芥菜种植地土壤 Olsen-P 高产丰缺指标为 $42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾则为 $88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; “高”肥力等级土壤的经济施肥量为 $N 315 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $P_2O_5 85 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $K_2O 146 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, “中”肥力等级土壤的经济施肥量为 $N 348 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $P_2O_5 127 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $K_2O 196 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, “低”肥力等级土壤的经济施肥量则为 $N 319 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $P_2O_5 146 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $K_2O 241 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。不同肥力等级土壤的推荐施肥量有明显差异, 与基础土壤速效养分含量具有一致性。因而, 建立了土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量与相应养分推荐施肥量的关系式, 实现了根据土测值预测推荐施肥量的目标。

关键词: 芥菜; 土壤; 氮磷钾; 施肥效应; 施肥指标

中图分类号: S 637.3

文献标识码: A

Effect and Recommended NPK Fertilization for Mustard Green

YAO Jian-zu

(Yongchun Soil and Fertilizer Station, Yongchun, Fujian 362600, China)

Abstract: Effect and recommended NPK fertilization for mustard green were studied with field experiments. Thirty tests were conducted and the results showed that the average rate of soil fertility contributed to the mustard yield was merely 26.3%. The effect of yield increase by individual fertilizers was 55.5%, 14.1% and 15.3% for the applied N, P and K, respectively. The fertilization benefits as shown by the output/input ratios were 36.9 and 21.3 and 12.2 for N, P and K, respectively. The result indicated that there was a remarkable effect on yield with the applied fertilizers. Maximum yield was achieved by using Olsen-P and available K at the rate of $42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. Optimal application rate and NPK proportion varied for soils of different fertilities. On average, the application rates for the soil of "high fertility grade" were $N 315 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P_2O_5 85 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $K_2O 146 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; those for the soil of "medium fertility grade" were $N 348 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P_2O_5 127 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $K_2O 196 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; and, those for the soil "low fertility grade" were $N 319 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P_2O_5 146 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $K_2O 241 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. The regression equations between the available NPK in soil and fertilizer application rate were established to facilitate proper fertilization according to soil testing results.

Key words: Mustard green; soil; NPK; fertilization effect; fertilization index

芥菜又名盖菜, 是我国著名的特产蔬菜品种和福建省大宗蔬菜种类之一。永春芥菜属大叶芥, 株型和叶片较大, 叶柄圆或扁阔、叶色多为深绿色或间有紫色, 是福建省主要栽培品种, 但目前对芥菜施肥技术的研究报道还很少。

根据芥菜生长期短、产量高和需肥量大的特点。近年来, 永春县芥菜的栽培面积不断扩大, 2010 年达到 0.16 万 hm^2 。在生产中, 菜农在高产出和高收益刺激下, 普遍存在盲目过量投入化肥

(尤其是氮肥), 导致营养失调、品质下降、风味欠佳, 同时也带来了施肥效益低等问题。合理施肥是提高蔬菜产量和品质的重要生产技术措施, 要确定一种作物在某个区域的适宜施肥量, 需要有较多的田间试验结果为依据。针对多年多点肥料试验结果, 学者采取多种方法进行归纳总结, 如肥效模型系数平均法^[1]、分类回归综合法和动态聚类分析法^[2-3], 杨守春等^[4]和章明清等^[5]的研究表明, 对多年多点试验资料采用平均产量回归建模, 有利于

收稿日期: 2011-08-05 初稿; 2011-11-11 修改稿

作者简介: 姚建族 (1963-), 男, 高级农艺师, 主要从事测土配方施肥技术研究与示范推广 (E-mail: 23862660@163.com)

基金项目: 国家测土配方施肥项目 (2008-2011); 福建省科技计划项目——省属公益类科研院所基本科研专项 (2009R10032-4)

提高典型肥效模型的出现几率。为此,本文根据近年来在芥菜主产区完成的30个氮磷钾肥料效应田间试验结果,探讨不同土壤肥力水平下的施肥效应和氮磷钾施肥指标,以期为芥菜测土配方施肥技术提供科学依据。

1 材料与方法

田间试验采用“3414”设计方案^[6],氮、磷、钾各4个水平,14个处理。即(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。其中,“2”水平的N、P₂O₅、K₂O推荐施肥量分别为270、90、150 kg·hm⁻²,各试验点的具体施用量根据基础土壤速效氮磷钾测定结果和目标产量进行适当调整,N调整幅度在240~300 kg·hm⁻²,P₂O₅和K₂O的调整幅度分别为60~90 kg·hm⁻²和120~180 kg·hm⁻²;“0”水平表示不施肥,“1”水平的用量为“2”水平的50%,“3”水平的用量为“2”水平的150%。试验采用多点分散不设重复的试验方法,试验小区按处理号顺序排列,

小区面积20 m²。

肥料分别选用尿素(N46%)、过磷酸钙(P₂O₅12%)和氯化钾(K₂O 60%)。磷肥全部做基肥施用,氮钾肥按基肥、追肥各50%施用。11月上中旬播种,12月上旬移栽,第2年3月收获,全生育期约110 d。供试芥菜品种选用当地大面积种植的良种。其他管理措施与大田相同。

2008年至2010年,每年选择当地芥菜主产区土壤肥力水平具有代表性的10个田块作为试验田。每个试验在实施前,各取耕层混合基础土样,按常规方法^[7],即pH为电位法,有机质为重铬酸钾容量法,碱解氮为碱解扩散法,Olsen-P为0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法,速效钾为1 mol·L⁻¹乙酸铵提取-火焰光度计法,测定供试土壤主要理化性状,结果见表1。芥菜收获时,每个小区单收单称,记录芥菜产量。

氮、磷、钾化肥的增产效果=(平衡施肥区产量-缺素区产量)÷平衡施肥区产量×100;相对产量=缺素区产量÷平衡施肥区产量。肥效模型采用二次多项式,参数估计方法采用最小二乘法或Monte Carlo法^[8],用Excel软件对试验结果进行统计分析。

表1 供试土壤主要理化性状
Table 1 Main physical and chemical properties of tested soils

土壤肥力	试验数 (个)	pH	有机质 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	Olsen-P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
高	6	5.2±0.3	43.7±5.2	176.5±40.2	37.8±15.6	80.5±41.5
中	18	5.3±0.4	37.3±7.7	160.1±42.9	43.0±32.4	70.7±44.6
低	6	5.9±0.7	25.4±9.9	111.0±20.1	42.2±51.9	60.7±37.2

2 结果与分析

2.1 氮磷钾施肥效应

2.1.1 不同土壤肥力水平的增产效果 作物施肥效应依赖于土壤肥力水平。杨守春等^[4]研究表明,以空白区产量水平划分土壤肥力等级是较简便可靠的方法,金耀青等^[9]认为,由于作物生长受诸多因素的影响从而产生的年度间产量变化幅度,足以掩盖被划分得过细的肥力级差,肥力等级划分为3级或4级就已足够。30个田间试验无肥区的芥菜产量水平变化幅度在2 309~37 500 kg·hm⁻²。为此,将芥菜种植地土壤肥力划分为“高”、“中”、“低”3个等级,即无肥区产量高于30 000 kg·hm⁻²的土壤肥力水平定为“高”,无肥区产量在30 000

kg·hm⁻²至15 000 kg·hm⁻²的土壤肥力水平定为“中”,无肥区产量小于15 000 kg·hm⁻²则定为“低”。

表2的30个田间试验结果表明,平衡施肥处理(N₂P₂K₂)平均产量达到83 137 kg·hm⁻²,不施肥处理(N₀P₀K₀)平均产量为21 854 kg·hm⁻²,土壤对芥菜产量的平均贡献率只有26.3%,且随土壤肥力等级的降低而下降(表2),均明显低于粮油作物^[10]。用配对法进行t测验,表明芥菜施用氮、磷、钾肥料均有显著水平的增产效果($t_N=11.8^{**}$, $t_P=6.3^{**}$, $t_K=5.9^{**}$),平均分别增产55.5%、14.1%和15.3%,增产效果为N>K>P,与福建省粮油作物的氮磷钾肥效一致^[10]。表2的统计结果还表明,不同肥力等级土壤的氮、磷、

钾肥效具有一定差异。低肥力等级土壤施用氮磷钾的增产效果最高, 中等肥力等级土壤的氮肥效应明

显高于高肥力等级土壤, 但磷钾肥的肥效则反之。表明因土施肥可显著提高氮磷钾肥效和施肥效益。

表 2 不同土壤肥力水平对芥菜产量贡献率及其氮磷钾增产效果

Table 2 Soil contribution rate on mustard yield and yield increase by NPK fertilization on soils of different fertility grades

土壤肥力 等级	试验数	施肥量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ 处理产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	土壤贡献率 (%)	增产效果(%)		
		N	P_2O_5	K_2O			N	P_2O_5	K_2O
高	6	255	75	135	101700	32.2	48.2	14.4	16.5
中	18	287	100	173	88669	25.7	56.3	12.2	13.1
低	6	300	150	210	47976	17.2	66.5	23.7	24.7

2.1.2 氮磷钾施肥效益 以每公斤 $\text{N}4.3$ 元、 P_2O_5 5 元、 K_2O 6 元和芥菜 1.0 元的平均市场价为依据, 计算氮磷钾施肥效益。表 2 的结果表明, 平衡施肥的平均肥料成本为 $2779.9 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产值 83 137 元, 比无肥区净增收 $58503.1 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。以平均增产效果为依据, 增施氮肥每公顷增加收入 44 900.1 元, 产投比为 36.9; 增施磷肥每公顷增加收入 11 159 元, 产投比为 21.3; 增施钾肥每公顷增加收入 12 697 元, 产投比为 12.2。用相同方法计算高、中、低土壤肥力等级的氮磷钾肥产投比, 结果表明, 在高、中、低土壤肥力中, 氮肥产投比分别是 44.7、40.5 和 24.7; 磷肥产投比分别是 39.1、21.6 和 15.2; 钾肥产投比则分别为 20.7、11.2 和 9.4。氮磷钾的产投比均明显高于粮油作物^[10], 表明芥菜施用氮磷钾肥料具有显著的增产增收效果。

2.2 土壤肥力水平对目标产量的影响

目标产量是测土配方施肥的关键参数之一。在 20 世纪 80 年代国内配方施肥研究中, 提出“以地定产”式^[11], 用于根据土壤肥力水平确定目标产量。田间试验表明, 处理(1)的空白区产量与处理(6)的氮磷钾平衡施肥区产量之间存在显著水平的线性关系(图 1), 即: $Y = 43612 + 1.8086X$ ($n=30, F=13.5^{**}$), 其中, X 和 Y 分别表示空白区产量和平衡施肥区产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。回归关系式的建立, 为芥菜测土配方施肥确定目标产量提供了一个较为精确的计算式, 从而把经验性估产提高到计量水平。

2.3 土壤速效磷钾丰缺指标

土壤速效氮磷钾丰缺指标法是测土配方施肥的经典方法^[12]。根据 30 个试验点的氮、磷、钾缺素区产量和平衡施肥区产量分别计算氮、磷、钾的相对产量, 与相应的基础土壤碱解氮、Olsen-P、速

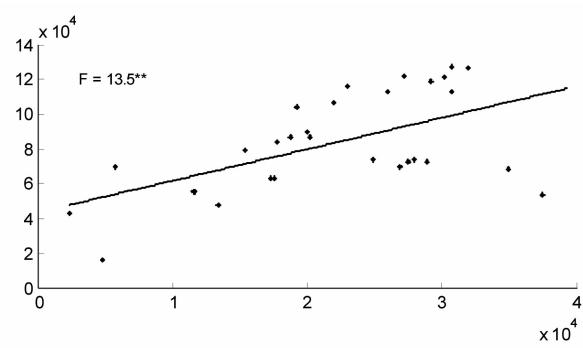


图 1 芥菜空白区产量水平对氮磷钾平衡施肥产量的影响

Fig. 1 Yield comparison between CK and balanced fertilization treatments

注: “*”表示试验产量

效钾含量测定值, 在坐标图上绘制散点图, 结果见图 2。结果表明, 与国内已总结的大量试验数据一致, 土壤碱解氮与芥菜相对产量无法建立数学关系。但 Olsen-P 及其相对产量和速效钾及其相对产量在散点图上的整体分布趋势满足指数模型所描述的动态特征。因此, 根据已有研究结果^[12], 选择幂函数模型建立 Olsen-P 和速效钾的校验曲线。表 4 的回归分析表明, 2 个回归方程的 F 值均达到极显著水平。

20 世纪 80 年代配方施肥研究^[9]表明, 对旱作物而言, 相对产量达到 90% 以上可定为“高”, 在 90%~75% 时定为“中”, 低于 75% 时定为“低”。因此, 各土壤肥力等级的相应有效磷和速效钾丰缺指标见表 4。因土壤碱解氮不能建立校验模型, 其丰缺指标参考李娟等^[13]对福建叶菜类蔬菜的研究结果, 即“高”肥力等级的临界指标为 $243 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, “中”肥力等级为 $243 \sim 138 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, “低”肥力等级则为 $138 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

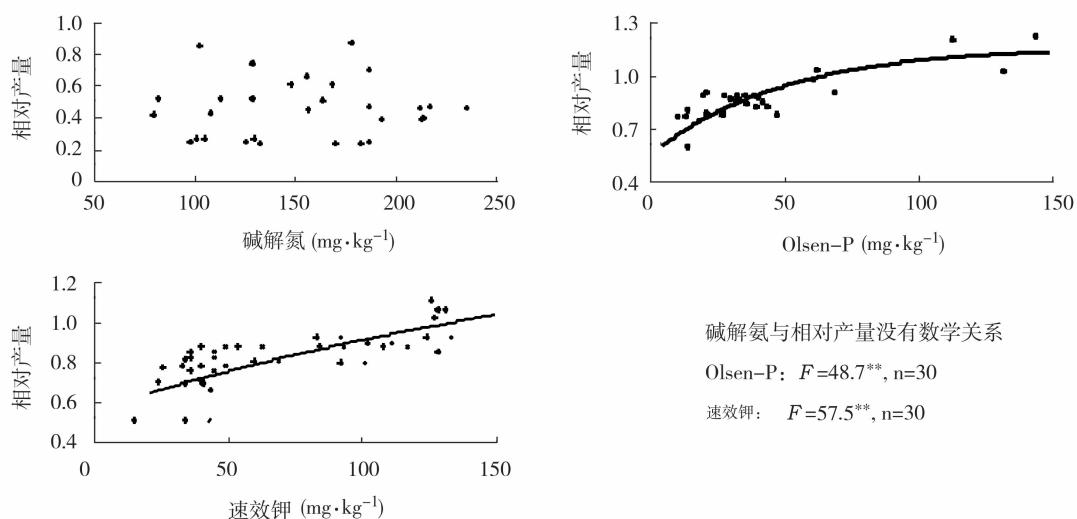


图 2 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾与芥菜相对产量的校验曲线

Fig. 2 Calibration curves between available NPK in soil and relative yield of mustard

注：“*”为实测值

表 4 土壤 Olsen-P 和速效钾的校验模型及其丰缺指标

Table 4 Calibration models for soil Olsen-P and available K, and their plentiful and lack indices

养分	校验曲线回归模型	土壤肥力指标		
		高	中	低
Olsen-P	$Y = 1.1662 - 0.6258 \times 0.9800^X, F = 48.7^{**}, n = 30$	42	42~20	20
速效钾	$Y = 1.5646 - 0.9700 \times 0.9957^X, F = 57.5^{**}, n = 30$	88	88~41	41

注: Y 为相对产量(无量纲), X 为土测值($mg \cdot kg^{-1}$)。

2.4 氮磷钾推荐施肥量

氮磷钾适宜施用量是测土配方施肥技术的核心内容之一。根据 30 个田间试验结果, 按表 2 的“高”、“中”和“低”的土壤肥力等级进行归类统计。由于用同一土壤肥力等级的相同处理产量进行多元回归分析, 可显著提高典型肥效模型的出现几率^[5], 故本文采用相同方法进行回归建模。“高”、“中”和“低”的土壤肥力等级各完成 6、18 和 6 个田间试验, 根据试验施肥量和产量结果, 得回归模型如下:

高肥力等级土壤: $Y = 33121 + 235.05N + 323.28P + 263.15K - 0.5210N^2 - 2.5986P^2 - 0.8068K^2 + 0.8252NP + 0.1855NK + 0.9408PK, R^2 = 0.9911^{**}$ 。

中肥力等级土壤: $Y = 23779 + 253.23N + 170.21P + 118.73K - 0.4379N^2 - 1.0533P^2 - 0.4030K^2 + 0.2656NP + 0.1102NK + 0.0557PK, R^2 = 0.9854^{**}$ 。

低肥力等级土壤: $Y = 8010 + 152.55N +$

$$170.53P + 157.07K - 0.3129N^2 - 0.5690P^2 - 0.2043K^2 + 0.0523NP + 0.2457NK + 0.0709PK, R^2 = 0.9777^{**}。$$

3 个三元二次多项式回归模型均达到统计显著水平。对各个回归方程进行典型性判别分析^[14], 表明均为典型式, 用边际产量导数法求得最高产量施肥量和经济施肥量(表 5)。

结果表明, 芥菜氮磷钾平均最高产量施肥量为 $N 337 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5 123 kg \cdot hm^{-2}$ 和 $K_2O 207 kg \cdot hm^{-2}$, 三要素比例为 $1 : 0.36 : 0.61$; 平均经济施肥量为 $N 327 kg \cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5 119 kg \cdot hm^{-2}$ 和 $K_2O 194 kg \cdot hm^{-2}$, 三要素最佳比例为 $1 : 0.36 : 0.59$ 。但不同肥力等级土壤的推荐施肥量有一定的差异, 与不同肥力等级的基础土壤速效养分含量测定结果(表 1)具有一致性。因此, 平均推荐用量可为芥菜配方肥开发生产提供农艺配方, 而不同土壤肥力等级的推荐施肥量可起到因土施肥的作用。

2.5 土壤速效氮磷钾测定值与最佳施肥量的关系

在 20 世纪 80 年代配方施肥研究中, 建立了土

测值与推荐施肥量的回归关系式^[9], 从而达到用土测值来预测具体地块推荐施肥量的目的。在30个试验资料中, 针对各试验点逐个建立三元二次肥效模型。对能通过回归分析显著性检验的28个肥效模型进行典型性判别^[14], 对典型肥效模型和非典型肥效模型分别采用边际产量导数法和Monte Carlo法^[8]求推荐施肥量。以基础土样碱解氮或Olsen-P或速效钾的测定结果为X轴, 以相应试验点的氮、磷、钾推荐施肥量为Y轴, 得到土测值与推荐施肥量的关系如图3。

表6的回归分析表明, 这种关系满足指数回归方程, 即 $Y=ae^{bx}$, 氮、磷、钾的回归方程均达到显著水平。回归关系式的建立, 使得本来只有相对意义的土壤速效养分测定值转变为直接用于确定施肥量的参数。因此, 可以利用这种关系式, 根据土测值预测芥菜推荐施肥量。标准误(Se)分布在 $20.3\sim33.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 表明每公顷氮磷钾推荐施肥量平均误差为 $\pm28.4\text{ kg}$, 可根据肥料和芥菜价格适当调整其推荐施肥量。

表5 不同土壤肥力等级的芥菜氮磷钾推荐用量

Table 5 Recommended NPK fertilizations for mustard on soils of different fertility grades

土壤肥力等级	最高施肥量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)				经济施肥量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)			
	N	P_2O_5	K_2O	预计产量	N	P_2O_5	K_2O	预计产量
高	320	86	150	104370	315	85	146	104340
中	355	131	205	91982	348	127	196	91932
低	336	151	267	48598	319	146	241	48473

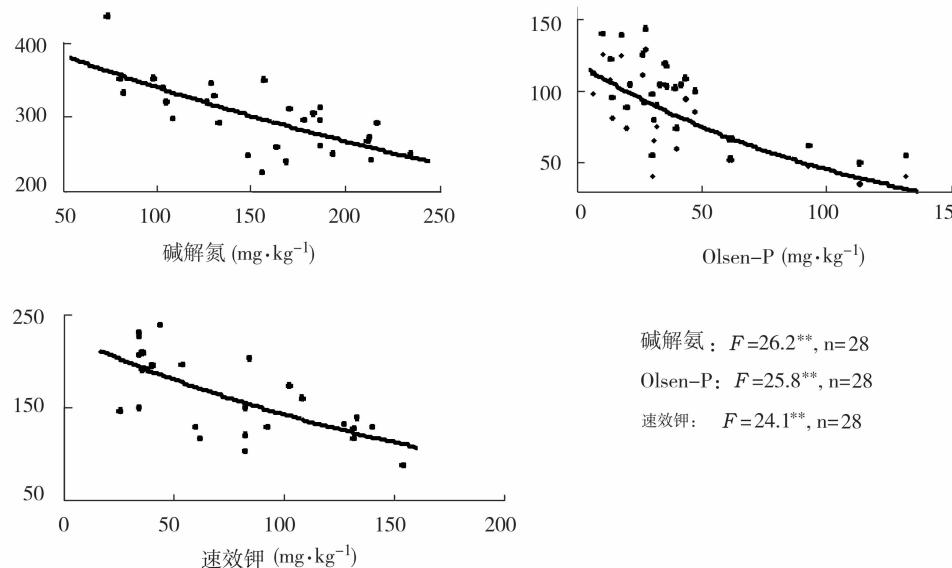


图3 土壤速效氮磷钾含量与氮磷钾推荐施肥量的关系

Fig. 3 Relationship between available NPK in soil and recommended fertilization

注: “*”为实测值

表6 土测值($X, \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)对推荐施肥量($Y, \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的影响Table 6 Effects of soil testing values($X, \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) on fertilization recommendations($Y, \text{kg}/\text{hm}^2$)

养分	试验点数(n)	回归方程	F值	标准误
N	28	$Y=431.75\exp(-0.002397X)$	26.2**	33.5
P_2O_5	28	$Y=134.96\exp(-0.008133X)$	25.8**	20.3
K_2O	28	$Y=228.21\exp(-0.004747X)$	24.1**	31.4

注: “**”表示 $P=0.01$ 的显著水平。

3 结 论

30 个田间试验表明, 土壤对芥菜产量的平均贡献率为 26.3%, 施用氮、磷、钾肥料的平均增产效果分别为 55.5%、14.1% 和 15.3%。低肥力等级土壤施用氮磷钾的增产效果最高, 中等肥力等级土壤的氮肥效应明显高于高肥力等级土壤, 但磷钾肥的肥效则反之。各肥力等级土壤施用氮磷钾肥料都有较高的产投比, 平均分别为 36.9、21.3 和 12.2, 表明芥菜施用氮磷钾肥料具有显著的增产增收效果。

芥菜空白区产量与平衡施肥区产量之间具有显著水平的线性关系, 建立了相应的线性回归方程, 把目标产量的确定由经验性估产提高到了计量水平。芥菜种植地土壤速效养分高产丰缺指标分别为 Olsen-P $42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和速效钾 $88 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 平均经济施肥量为 N $327 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P₂O₅ $119 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 K₂O $194 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 三要素最佳施肥比例为 1:0.36:0.59, 但不同肥力等级土壤的推荐施肥量有一定的差异, 与基础土壤速效养分含量具有一致性。因而, 建立了土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量与相应养分推荐施肥量的关系式, 实现了根据土测值预测推荐施肥量的目标。

参考文献:

- [1] COWELL J D. The derivation of fertilizer recommendations for crop in non-uniform environment: Fertilizer [J]. *Crop Quality and Economy*, 1974; 936—961.
- [2] 王兴仁, 陈伦寿. 分类回归综合法及其在区域施肥决策中的应用 [J]. *土壤通报*, 1989, 1: 17—21.
- [3] 毛达如, 张承东. 多点肥料效应函数的动态聚类方法 [J]. *北京农业大学学报*, 1991, 17 (2): 49—54.
- [4] 杨守春, 陈伦寿. 黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥研究总论 [C] //黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1991: 1—26.
- [5] 章明清, 林代炎, 林仁埙. 福建水稻区域施肥模型和推荐施肥研究 [J]. *福建农业学报*, 1997, 12 (1): 51—55.
- [6] 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.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [8] 章明清, 徐志平, 姚宝全, 等. Monte Carlo 法在多元肥效模型参数估计和推荐施肥中的应用 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (2): 366—373.
- [9] 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: 1—60.
- [10] 徐志平, 姚宝全, 章明清, 等. 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究 I. 土壤基础肥力对作物产量的贡献率及其施肥效应 [J]. *福建农业学报*, 2008, 23 (4): 396—402.
- [11] 王竺美, 周鸣铮. 浙江省水稻土壤基本肥力与水稻最高可得产量之间的关系探讨 [J]. *土壤学报*, 1982, 19 (3): 315—322.
- [12] FAGENIA N K, BALIGAR V C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat and soybean to soil fertility of an oxisol [J]. *Plant Nutrient*, 1997, 20: 1279—1289.
- [13] 李娟, 章明清, 姚宝全, 等. 福建主要蔬菜氮磷钾营养特性及其施肥指标体系研究 II. 主要蔬菜氮磷钾施肥效应及其土壤养分丰缺指标 [J]. *福建农业学报*, 2011, 26 (3): 432—439.
- [14] 章明清, 林仁勋, 林代炎. 极值判别分析在三元肥效模型推荐施肥中的作用 [J]. *福建农业学报*, 1995, 10 (2): 54—59.

(责任编辑: 柯文辉)