

福建省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

李娟¹, 章明清¹, 姚宝全², 孔庆波¹, 姚建族³, 张燕⁴

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福建 福州 350013; 2. 福建省农田建设与土壤肥料技术总站, 福建 福州 350003; 3. 福建省永春县农业局土肥站, 福建 永春 362600; 4. 福建省永安市农业技术推广中心, 福建 永安 366000)

摘要: 采用田间试验研究福建主要蔬菜氮磷钾施肥效应, 建立菜园速效氮磷钾丰缺指标。根据 148 个试验的空白区产量水平, 将土壤肥力分为“高”、“中”和“低”3 个等级。结果表明, 土壤肥力对蔬菜产量贡献率为 (50.9±12.8)%, 随土壤肥力等级的降低而明显下降; 空白区产量与平衡施肥产量之间存在显著的线性关系。肥效试验结果表明, 叶菜类、根茎类、瓜果类和葱类等蔬菜施用氮磷钾肥有显著的增长效果, 随着土壤肥力水平的下降, 氮磷钾肥效明显提高; 增产幅度和净增收数均为氮肥明显高于钾肥, 钾肥明显高于磷肥; 叶菜类和葱类的氮肥产投比明显高于磷钾肥, 而根茎类和瓜果类则为磷肥产投比明显高于氮钾肥。叶菜类蔬菜的土壤养分高产临界指标分别为碱解氮 243 mg·kg⁻¹、Olsen-P 52 mg·kg⁻¹和速效钾 150 mg·kg⁻¹, 根茎类和瓜果类等蔬菜则分别为碱解氮 276 mg·kg⁻¹、Olsen-P 47 mg·kg⁻¹和速效钾 132 mg·kg⁻¹。

关键词: 蔬菜; 施肥; 效应; 碱解氮; Olsen-P; 速效钾; 丰缺指标

中图分类号: S 143 文献标识码: A

Nutrition Characteristics and Fertilization Indices of Nitrogen, Phosphor and Potassium for Major Vegetables in Fujian

II. Vegetable's Response to Fertilizations and Garden Soil's Available NPK Fertilization Indices

LI Juan¹, ZHANG Ming-qing¹, YAO Bao-quan², KONG Qing-bo¹, YAO Jian-zu³, ZHANG Yan⁴

(1. Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; 2. Fujian Cropland Construction and Soil and Fertilizer Station, Fuzhou, Fujian 350003, China; 3. Soil and Fertilizer Station, Yongchun Agriculture Bureau in Fujian Province, Yongchun, Fujian 362600, China; 4. Yong'an Agro-technical Popularization Center in Fujian Province, Yong'an, Fujian 366000, China)

Abstract: Based on the results of field experiments on the vegetables' response to N, P and K, soil fertilization indices of available N, P and K in vegetable gardens in Fujian were established. Soil fertility of the croplands was classified as high, medium and low grades according to the vegetable yield from 148 field experiments conducted in a test area. The results showed that the average contribution rate of soil nutrients to the growth of vegetables was (50.9±12.8)%. It decreased significantly when the soil fertility declined. A significant linear relationship existed between the yield on the control and fertilized areas. Leafy vegetables, melon, fruits, root-stock and onion-type vegetables were used in this study. Their yields increased significantly in response to the NPK fertilization. The effect of the NPK application increased significantly as the soil fertility declined. The extent and net gain from N fertilization were significantly greater than those from K, and those from K significantly greater than those from P. The value/cost ratios (VCRs) of N fertilization for leafy and onion-type vegetables were significantly higher than those of P or K. The VCRs of P for the root-stock vegetables, melon and fruits were significantly higher than those of N and P. The critical application levels of alkali-hydrolyzable N, Olsen-P and available K to achieve high yield for

收稿日期: 2011- 01- 02 初稿; 2011- 02- 19 修改稿
作者简介: 李娟 (1977-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 植物营养与肥料学 (E-mail: lj- 95@163.com)
通讯作者: 章明清 (1963-), 男, 博士, 研究员, 主要从事平衡施肥和施肥与环境研究 (E-mail: zhangmq2001@163.com)
基金项目: 福建省科技计划项目——福建省属公益类科研院所基本科研专项 (2009R10032-4); 国际植物营养研究所 (IPNI) 合作项目 (Fujian-09); 国家测土配方施肥项目 (2005- 2009); 福建省科技厅重点项目 (2008Y0023)

leafy vegetables were found to be $243\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $52\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $150\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. And those for other vegetables were $276\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $47\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $132\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. These recommended application levels were all significantly higher than for grains and oil crops. The results provided a scientific basis for soil evaluation and fertilization optimization for vegetable gardens in Fujian.

Key words: vegetables; fertilization; efficiency; alkali-hydrolyzable N; Olsen-P; available P; fertilization index

20 世纪 80 年代以来, 国内配方施肥技术研究主要集中在粮棉油作物上^[1-2]。当时的研究表明, 建立在肥料效应函数——土壤养分丰缺指标法基础上的配方施肥技术, 因其具有科学性和严密性, 使推荐施肥量和配方达到优化水平^[3]。土壤氮磷钾养分丰缺指标是测土配方施肥的关键参数之一, 但不同农业生产区域由于土壤肥力水平、水文和气候等条件存在较大差异, 土壤肥力对作物产量水平的影响和土壤速效养分丰缺指标存在较大差异^[2]。因此, 不同农业生产地区和作物的相应土壤养分丰缺指标的确定就成为当前测土配方施肥工作的一个重要研究课题。

改革开放以来, 我国蔬菜种植面积迅速扩大, 蔬菜合理施肥引起人们的广泛重视, 但研究基础较为薄弱。张桥等^[4]、李淑仪等^[5]和廖新荣等^[6]对广东小白菜和菜心为代表的叶菜测土施肥试验研究表明, 土壤养分高产临界指标分别为碱解氮 $190\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $95\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和速效钾 $107\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。近年来, 福建在全省范围内开展了主

要蔬菜氮磷钾施肥指标体系建设的试验研究, 截至 2009 年底共完成了 148 个田间氮磷钾肥效试验。本文在总结前人工作基础上, 根据近年来完成的氮磷钾肥效试验结果, 归纳总结菜田土壤对主要蔬菜产量的贡献率和施肥效应, 建立土壤速效氮磷钾丰缺指标, 以期为福建蔬菜测土配方施肥技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设 5 个处理, 即①不施肥 (CK); ②平衡施肥 (NPK); ③不施氮肥 (PK); ④不施磷肥 (NK); ⑤不施钾肥 (NP)。20 个供试蔬菜的氮磷钾肥效试验的推荐施肥量见表 1, 各试验点可根据土壤肥力状况、产量水平和营养特性进行适当调整。试验采用 3 次或 4 次重复, 随机区组排列, 小区面积 20~ 25 m², 同一个试验的小区面积相同。试验地分布于全省各地蔬菜主产区, 选择当地具有代表性的土壤类型和肥力水平的地块作为试验田。

表 1 供试蔬菜氮磷钾平衡施肥的推荐施肥量
Table 1 Balanced fertilization recommended for various vegetables

蔬菜	作物	N- P ₂ O ₅ - K ₂ O (kg · hm ⁻²)	蔬菜	作物	N- P ₂ O ₅ - K ₂ O (kg · hm ⁻²)
叶菜类蔬菜	大白菜	228- 74- 215	瓜果类蔬菜	花椰菜	190- 99- 186
	洋包菜	225- 72- 210		丝瓜	300- 120- 225
	芥菜	284- 114- 179		胡瓜	315- 180- 225
	结球甘蓝	258- 146- 270		苦瓜	315- 180- 225
	空心菜	200- 65- 140		番茄	330- 195- 450
	小白菜	135- 70- 133		四季豆	180- 90- 90
	芥蓝菜	150- 60- 120		蚕豆	120- 45- 90
根茎类蔬菜	苋菜	180- 60- 120	葱类蔬菜	大葱	180- 90- 150
	茼蒿	315- 141- 317			
	白萝卜	225- 90- 225			
	胡萝卜	255- 30- 360		香葱	150- 135- 75

1.2 试验方法

供试品种选用当地大面积种植的良种, 试验时间都在当地正常大田生产季节内进行。氮肥选用尿

素 (N 46%), 磷肥选用过磷酸钙 (P₂O₅ 12%), 钾肥选用氯化钾 (K₂O 60%)。肥料分基肥和追肥施用。基肥中氮钾肥占总用量的 30% ~ 50%, 磷

肥全部作基肥，余下的氮钾肥作追肥；对生育期较短的蔬菜进行 1 次追肥，对生育期 2 个月以上的蔬菜，则进行 2~ 3 次追肥，每次追肥占氮钾肥总用量的 25% 或 20% 左右。试验区周围设 1 m 宽以上的保护行，其他的栽培管理措施与大田生产一致。收获时各小区单收单称，分别记录产量鲜重，取植株样品测定烘干率。

1. 3 样品的采集与测定

每个试验实施前，各试验取 1 个混合基础土

样。采用常规方法^[7]测定土壤 pH、有机质和碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量，测定结果见表 2。
土壤对蔬菜产量贡献率 = 无肥区产量 / 平衡施肥区产量 × 100%；氮、磷、钾化肥的增产率 = (平衡施肥区产量 - 缺素区产量) / 平衡施肥区产量 × 100%。对试验结果采用 MATLAB 软件统计工具箱进行统计分析。

表 2 供试土壤主要理化性状
Table 2 Major physical and chemical properties of soils tested

序号	蔬菜	试验数 (n)	pH	有机质 (g · kg ⁻¹)	碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	Olsen-P (mg · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)
1	大白菜	12	5.26±0.46	24.5±6.7	145.5±37.3	28.6±22.4	95.4±39.9
2	洋包菜	10	5.13±0.20	28.1±6.9	138.6±46.3	33.1±29.6	106.0±53.4
3	芥菜	20	5.58±0.50	36.6±16.7	137.1±35.7	26.1±20.2	50.8±41.8
4	结球甘蓝	59	5.21±0.53	27.0±9.4	127.2±50.0	70.6±47.3	95.4±59.5
5	茼蒿	9	5.74±0.46	22.1±6.3	123.6±18.2	75.9±54.9	103.5±71.3
6	空心菜	4	5.61±0.80	15.8±2.5	155.0±26.9	59.2±31.4	125.6±83.6
7	花椰菜	19	5.06±0.24	29.2±4.8	118.2±48.3	76.6±47.8	84.9±36.8
8	其他	15	5.44±0.62	16.4±3.6	127.4±18.0	99.1±76.9	118.1±67.8

2 结果与分析

2.1 土壤基础肥力水平对供试蔬菜产量的影响

2.1.1 土壤基础肥力等级的划分及其对蔬菜产量的贡献率 20 世纪 80 年代的研究表明，以无肥区产量水平作为土壤肥力等级的划分依据是最简便有效的方法^[8]；由于作物生长受众多因素的影响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，因此，肥力指标划分为 3 级或 4 级就已足够^[3]。在蔬菜氮磷钾肥效试验中，12 个大白菜试验、10 个洋包菜试验、20 个芥菜试验、9 个茼蒿试验和 19 个花椰菜试验的空白区产量变化幅度分别为 11 820~ 49 622 kg · hm⁻²、10 275~ 35 565 kg · hm⁻²、4 808~ 37 500 kg · hm⁻²、8 640~ 37 425 kg · hm⁻² 和 3 900~ 39 060 kg · hm⁻²。根据各试验中无肥区实际产量变化范围和建立区域施肥模型的精度要求，以及各肥力等级试验点分布状况等综合因素考虑，将上述菜田土壤肥力水平划分为“高”、“中”、“低”3 个等级，即空白区产量大于 22 500 kg · hm⁻² 的土壤肥力定为“高”，空白区产量在 22 500~ 15 000 kg · hm⁻²

的土壤肥力定为“中”，空白区产量低于 15 000 kg · hm⁻² 的土壤肥力定为“低”。
在 59 个结球甘蓝菜试验中，空白区产量变化幅度为 3 885~ 57 225 kg · hm⁻² 之间，同时考虑到各肥力等级试验点分布状况，“高”、“中”和“低”土壤肥力等级的空白区产量分别定为大于 30 000 kg · hm⁻²、30 000~ 15 000 kg · hm⁻² 和小于 15 000 kg · hm⁻²。
根据无肥区和氮磷钾平衡施肥区的试验产量，计算不同肥力等级土壤对供试蔬菜产量的贡献率(表 3)。125 个大白菜、洋包菜、芥菜、结球甘蓝、茼蒿和花椰菜试验结果表明，土壤基础肥力对产量贡献率的变化幅度为 17.2%~ 73.8%，平均为 (50.9±12.8)%，明显低于水稻土对稻谷的贡献率，而与旱地土壤对甘薯、马铃薯和花生产量的贡献率相近^[9]。菜田不同土壤肥力等级对蔬菜产量有明显的影响，“高”肥力等级土壤的平均贡献率为 (63.1±12.5)%，“中”和“低”肥力等级土壤则分别为 (47.7±16.7)% 和 (33.6±14.7)%，随土壤肥力等级的降低而明显下降。

表 3 土壤对供试蔬菜产量的贡献率
Table 3 Rate of soil fertility's contribution to vegetable yields

蔬菜	“高”肥力等级土壤			“中”肥力等级土壤			“低”肥力等级土壤		
	试验数 (个)	空白区产量 (kg·hm ⁻²)	贡献率 (%)	试验数 (个)	空白区产量 (kg·hm ⁻²)	贡献率 (%)	试验数 (个)	空白区产量 (kg·hm ⁻²)	贡献率 (%)
大白菜	1	24812 ± 0	63.4	8	17023±688	53.3	3	13088±1326	34.9
洋包菜	4	33364±1585	64.9	5	18567±581	54.1	1	10275± 0	30.6
芥菜	7	26086±11366	38.8	7	18144±169	23.0	6	8238±452	17.2
结球甘蓝	26	45145±12129	73.8	18	21003±4051	43.5	15	8174±3794	19.5
茼蒿	4	34001±3579	70.6	2	20040±3521	39.2	1	8640± 0	43.3
花椰菜	5	32370±6426	67.2	5	18540±3312	62.8	9	12123±3280	56.0

2.1.2 空白区产量对平衡施肥产量的影响 目标产量是测土配方施肥的关键参数之一。在 20 世纪 80 年代国内提出“以地定产”^[10]，用于根据土壤肥力水平确定目标产量。蔬菜氮磷钾田间试验表明，空白区产量与氮磷钾平衡施肥区产量之间存在显著水平的线性关系（表 4）。由于空心菜、小白菜等叶菜以及多数根茎类和瓜果类等蔬菜试验点较少，无法单独回归分析，因而一起并入“其他”类别中，建立空白区产量和平衡施肥区产量的回归关系式。为蔬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。

表 4 供试蔬菜空白区产量(X)对氮磷钾平衡施肥产量(Y)的影响

Table 4 Effect of balanced NPK fertilization on vegetable yield (X) as compared to control (Y)

蔬菜	试验数	回归方程	F 值
大白菜	12	$Y = 9351.6 + 1.3732X$	805.9**
洋包菜	10	$Y = 17277 + 1.0058X$	18.7**
芥菜	20	$Y = 42503 + 1.4020X$	10.0**
结球甘蓝	59	$Y = 34818 + 0.6258X$	46.8**
茼蒿	9	$Y = 15444 + 1.0761X$	6.7*
花椰菜	19	$Y = 7172.6 + 1.1538X$	38.7**
其他	15	$Y = 11626 + 0.9868X$	158.8**

2.2 蔬菜氮磷钾施肥效应

2.2.1 增产效应 在 148 个供试蔬菜氮磷钾肥效试验结果中，对试验点数 4 个以上的资料用配对法 t 值测定，对试验点少的资料进行方差分析，表 5 显示，除磷肥肥效有 2 个试验点增产不显著外，其余试验点的氮磷钾肥效增产效果均达到显著水平。

109 个叶菜类蔬菜试验的氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (37.7±13.7)%、(13.0±4.1)% 和 (18.7±7.7)%，11 个根茎类蔬菜试验的氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (43.8±20.9)%、(22.9±14.1)% 和 (35.8±24.3)%，26 个瓜果类蔬菜试验的氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (25.0±13.6)%、(16.7±10.3)% 和 (24.8±13.6)%，2 个葱类蔬菜试验的氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (46.6±6.2)%、(9.1±5.7)% 和 (15.6±13.4)%。表明蔬菜氮磷钾肥增产效果与粮油作物一样^[7]，都是 N > K > P，且磷肥肥效明显低于氮钾肥。

对大白菜、洋包菜、芥菜、结球甘蓝菜、茼蒿和花椰菜的 129 个试验资料，按不同土壤肥力等级进行归类分析。表 6 显示，“高”土壤肥力等级 (n = 47) 的氮、磷、钾化肥的增产率分别为 (29.0±8.6)%、(8.9±4.7)% 和 (17.2±10.1)%，中等土壤肥力等级 (n= 45) 的氮、磷、钾化肥的增产率分别为 (41.7±12.2)%、(17.7±4.6)% 和 (22.3±4.5)%，低土壤肥力等级 (n= 33) 分别为 (49.4±17.4)%、(18.0±7.2)%、(29.9±6.3)%。结果表明，与粮油作物一样^[7]，随着土壤肥力水平的下降，氮磷钾肥肥效明显提高。

2.2.2 施肥效益 以每千克 N 4.3 元、P₂O₅ 5 元、K₂O 4.0 元和叶菜类蔬菜和瓜果类蔬菜 2.0 元、根茎类蔬菜 1.5 元和葱类蔬菜 3.0 元的平均市场价为依据，计算氮磷钾施肥效益（表 7）。结果表明，由于营养特性差异和产品价格不同，不同蔬菜种类的每千克养分增产量、施用氮磷钾肥的净增收和产投比等方面有明显不同。就每千克养分增产量而言，叶菜类和葱类蔬菜为 N > P₂O₅ > K₂O，根茎类和瓜果类蔬菜则为 P₂O₅ > N > K₂O；施用氮磷钾肥对叶菜类、瓜果类和葱类蔬菜的净增收为

氮肥明显高于钾肥，而钾肥明显高于磷肥，但根茎类和葱类的氮肥产投比明显高于磷钾肥，而根茎类蔬菜则为氮肥高于磷钾肥，差异幅度较小；叶菜类和瓜果类的磷肥产投比明显高于氮钾肥。

Table 5 Vegetable s yield increases in response to NPK fertilization										
蔬菜	试验 (个)	N- P ₂ O ₅ - K ₂ O (kg·hm ⁻²)	产量 (kg·hm ⁻²)	氮肥		磷肥		钾肥		
				增产 (kg·hm ⁻²)	增产率 (%)	增产 (kg·hm ⁻²)	增产率 (%)	增产 (kg·hm ⁻²)	增产率 (%)	
叶类菜	大白菜	12	228- 74- 215	33949±6958	15802* *	46 5	5335* *	15 7	8198* *	24 1
	洋包菜	10	225- 72- 210	41072±10558	14586* *	35 5	3857*	9. 4	6735* *	16 4
	芥菜	20	284- 114- 179	65537±17820	33192* *	50 6	10019* *	15 3	14210* *	21 7
	结球甘蓝	59	258- 146- 270	52704±16424	19245* *	36 5	6226* *	11 8	7436* *	14 1
	空心菜	4	200- 65- 140	42925±10051	18290* *	42 6	4765* *	11 1	7715* *	18 0
	小白菜	2	135- 70- 133	37373±4773	3338*	8 9	4778* *	12 8	4118* *	11 0
	芥蓝菜	1	150- 60- 120	27570± 0	8370* *	30 4	1650	6. 0	2070*	7 5
	苋菜	1	180- 60- 120	31005± 0	15645* *	50 5	6360* *	20 5	10275* *	33 1
根类菜	莴苣	9	315- 141- 317	44981±14636	11488* *	25 5	9937* *	22 1	7961* *	17 7
	白萝卜	1	225- 90- 225	20654± 0	13730* *	66 5	7731* *	37 4	13097* *	63 4
	胡萝卜	1	255- 30- 360	64110? 0	25215* *	39 3	5985* *	9 3	16875* *	26 3
瓜果类	花椰菜	19	190- 99- 186	29633? 13760	9267* *	31 3	4165* *	14 1	6692* *	22 6
	丝瓜	1	300- 120- 225	26430? 0	-	-	-	-	6345* *	24 0
	胡瓜	1	315- 180- 225	60615? 0	5471* *	9 0	12041* *	19 9	-	-
	苦瓜	1	315- 180- 225	57800? 0	11066* *	19 1	12900* *	22 3	-	-
	番茄	1	330- 195- 450	70620? 0	33720* *	47 7	22470* *	31 8	30255* *	42 8
	四季豆	1	180- 90- 90	19395? 0	3225* *	16 6	1905*	9 8	-	-
	蚕豆	2	120- 45- 90	16560? 3012	4365* *	26 4	420	21 5	1620*	9 8
葱类	大葱	1	180- 90- 150	50295? 0	25590* *	50 9	2490*	51 0	3090*	6 1
	香葱	1	150- 135- 75	23865? 0	10080* *	42 2	3120* *	13 1	5970* *	25 0

注:/ * * 0表示统计显著水平($P < 0.01$), / * 0表示统计显著水平($P < 0.05$)。

Table 6 Vegetable s yield increase in response to NPK fertilization on soils of different fertility grades															
蔬菜	高肥力等级					中肥力等级					低肥力等级				
	试验数 (个)	产量 (kg# hm ⁻²)	增产率(%)			试验数 (个)	产量 (kg# hm ⁻²)	增产率(%)			试验数 (个)	产量 (kg# hm ⁻²)	增产率(%)		
			N	P	K			N	P	K			N	P	K
大白菜	1	39138	311.4	14.8	32.9	8	37522	38.6	14.7	21.2	3	31961	69.8	18.3	27.7
洋包菜	4	51409	34.9	11.4	8.5	5	34293	37.0	16.8	21.2	1	33615	31.3	20.8	39.9
芥菜	7	78967	38.5	8.4	23.0	7	67161	60.9	13.2	16.8	6	47976	50.8	30.6	28.9
结球甘蓝	26	61178	19.5	8.3	8.2	18	48267	46.3	18.8	20.0	13	41898	70.5	10.8	22.0
莴苣	4	51158	17.4	7.5	9.6	2	48150	43.2	26.3	29.8	1	19950	39.0	13.2	34.3
花椰菜	5	48192	32.3	12.8	21.0	5	25458	23.9	16.5	24.7	9	21642	34.8	14.0	26.4

表 7 氮磷钾化肥对供试蔬菜经济效益的影响
Table 7 Economic returns of NPK fertilization on various vegetables

蔬菜种类	试验数	每公斤养分增产量 (kg)			每公顷净增收 (元)			产投比		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	N	P	K
叶菜类	109	731 1? 271 2	661 4? 251 0	451 8? 251 1	31225? 17239	10334? 4704	14496? 7312	331 0? 121 6	251 6? 101 0	211 9? 121 6
根茎类	11	651 5? 311 4	1181 6? 701 5	431 4? 161 8	24077? 11113	18940? 4839	17764? 6654	241 2? 111 2	341 6? 211 2	151 3? 61 3
瓜果类	26	431 0? 311 4	541 4? 381 6	371 4? 211 2	21332? 22652	17310? 16527	21505? 25193	191 0? 141 6	211 8? 161 1	171 7? 101 6
葱类	2	1041 7? 531 0	251 4? 31 3	501 1? 411 7	52796? 32810	7853? 1177	13140? 6321	721 1? 371 0	141 3? 11 9	361 6? 311 3

21 3 土壤速效氮磷钾丰缺指标

21 31 1 试验数据的确认和校验曲线模型选择 分析 96 个叶菜类蔬菜同时具有土壤速效氮磷钾测定结果和试验产量的试验资料, 根据氮、磷、钾缺素区产量和氮磷钾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、速效钾含量测定值, 在坐标图上绘制散点图。结果表明, 土壤碱解氮与蔬菜相对产量构成的点在坐标图上的分布较为分散, 但只要剔除 5% 左右的偏离过大的试验点, 其整体分布即可满足对数模型所描述的动态特征。考虑到当前蔬菜测土配方施肥工作的需要, 在校验曲线回归建模前剔除这些试验点, 建立土壤碱解氮丰缺指标。

20 世纪 80 年代国内研究表明, 氮、磷、钾养分测定值与相应的作物相对产量的散点图分布大多满足米氏方程动态特征, 并选用指数或对数回归模型^[4], 但图 1 结果表明, 碱解氮、Olsen-P 和速效钾的散点图整体分布特征有一定差别。根据拟合效果, 综合考虑供试土壤速效氮磷钾含量状况及其作物营养特点、三个校验曲线模型的高度和斜率特征、对试验数据分布特征的要求等因素, 碱解氮校验曲线选择对数模型, Olsen-P 和速效钾校验曲线选用幂函数模型^[11], 其中, 叶菜类蔬菜的校验曲

线拟合效果见图 1。

21 31 2 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标 蔬菜种类繁多, 现有的试验规模无法按照各个作物建立土壤速效养分丰缺指标。因此, 将蔬菜分为叶菜类和根茎瓜果类等两大类别, 分别建立土壤养分丰缺指标。根据前人的研究结论^[1]结合试验结果, 将土壤养分丰缺指标划分为 3 级, 即相对产量大于 0.90 的相应速效养分含量定为 /高0, 相对产量在 0.90~ 0.75 的则定为 /中0, 相对产量小于 0.75 的则定为 /低0。

土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标见表 8。结果表明, 丰缺指标值都明显高于粮油作物^[12], 主要是由于蔬菜生长速度快和生物量大, 要求土壤有较高的速效养分含量的缘故; 叶菜类的 Olsen-P 和速效钾高产临界指标高于根茎类和瓜果类蔬菜。主要是由于我省叶菜类蔬菜大都在冬春季节种植, 土温较低, 养分有效性较差, 因而要求土壤有较高的速效磷钾含量; 而根茎类和瓜果类蔬菜大都在夏秋季节种植, 此时土温较高, 土壤养分有效性较高, 因而土壤速效磷钾含量则要求较低。但叶菜类蔬菜的土壤碱解氮高产临界指标低于根茎瓜果类, 有待于进一步探讨。

表 8 菜田土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾校验曲线模型及其丰缺指标
Table 8 Fertilization indices of alkali-hydrolyzable N, Olsen-P and available K in garden soil

蔬菜种类	养分	土壤速效养分(X)和相对产量(Y) 校验曲线回归模型	丰缺指标 (mg # kg ⁻¹)		
			相对产量 > 0.90(高)	相对产量 0.90~ 0.75(中)	相对产量 < 0.75(低)
叶菜类	碱解氮	$Y = - 51.5052 + 0.2640 \ln(X), F = 521.2^{**}, n = 92$	> 243	243~ 138	< 138
	Olsen-P	$Y = 0.9529 - 0.3379 @ 0.9646^X, F = 991.1^{**}, n = 96$	> 52	52~ 14	< 14
	速效钾	$Y = 0.9893 - 0.4037 @ 0.9900^X, F = 601.8^{**}, n = 96$	> 150	150~ 52	< 52
根茎类和 瓜果类等	碱解氮	$Y = - 0.2904 + 0.2118 \ln(X), F = 91.1^{**}, n = 31$	> 276	276~ 136	< 136
	Olsen-P	$Y = 0.9772 - 0.3646 @ 0.9673^X, F = 371.7^{**}, n = 35$	> 47	47~ 14	< 14
	速效钾	$Y = 11.0234 - 0.7778 @ 0.9861^X, F = 581.4^{**}, n = 35$	> 132	132~ 75	< 75

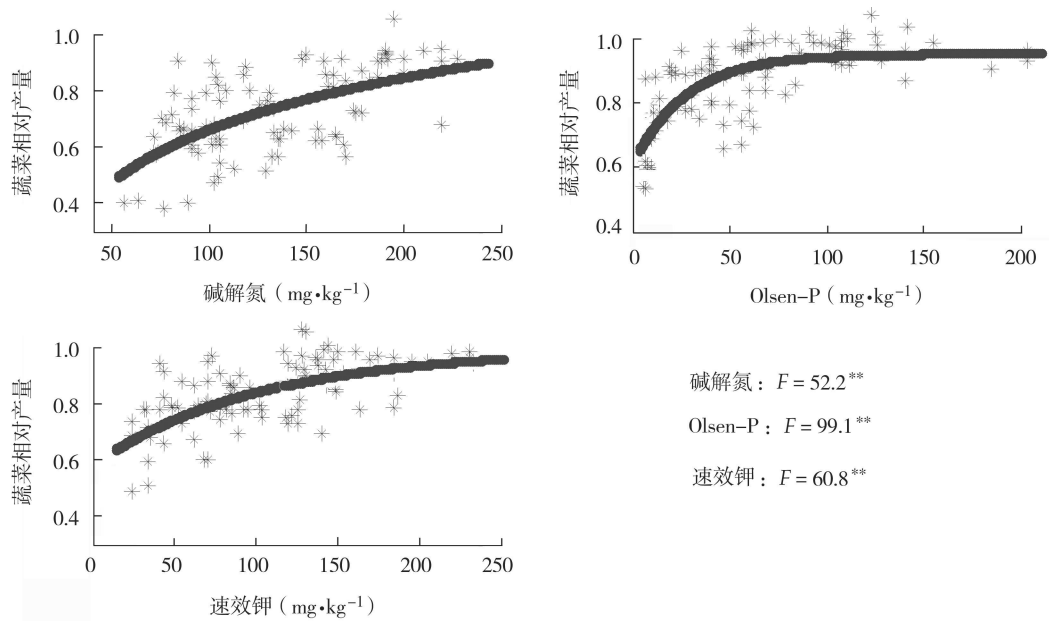


图 1 土壤速效氮磷钾含量对叶菜类蔬菜相对产量的影响
Fig 1 Effect of soil s available N, P and K on leafy vegetable yield
注：/ * 0 为试验实测值。

21 4 菜田土壤养分丰缺状况评价

根据表 8 的土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标值及其各试验点的土测值，统计 148 个试验点基础土样速效养分丰缺状况。结果表明，土壤碱解氮含量属于 /高0 肥力等级的土样数只有 2 个，属于 /中0 肥力等级和 /低0 肥力等级的土样数为 146 个，占土样总数的 981 6%；土壤 Olsen-P 含量属于 /高0 肥力等级的土样数有 60 个，占土样总数的 401 5%，而属于 /中0 肥力等级和 /低0 肥力等级的土样数为 88 个，占土样总数的 591 5%；土壤速效钾含量属于 /高0 肥力等级的土样数只有 17 个，占土样总数的 121 8%，而属于 /中0 肥力等级和 /低0 肥力等级的土样数为 131 个，占土样总数的 881 5%。结果与表 4 的氮磷钾增产效果一致，也与粮油作物种植地的土壤养分丰缺状况基本相似^[7]。

3 结 论

根据近年来完成的 20 种蔬菜 148 个田间试验的无肥区产量水平，将福建菜田土壤肥力分为 /高0、/中0 和 /低0 3 个等级。结果表明，土壤对蔬菜产量平均贡献率为 (501 9 ? 121 8) %，随土壤肥力等级的降低而明显下降；空白区产量与平衡施肥产量之间存在显著水平的线性关系。

叶菜类蔬菜氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (371 7 ? 131 7) %、(131 0 ? 41 1) % 和 (181 7 ?

71 7) %，根茎类蔬菜氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (431 8 ? 201 9) %、(221 9 ? 141 1) % 和 (351 8 ? 241 3) %，瓜果类蔬菜氮、磷、钾肥平均增产率分别为 (251 0 ? 131 61) %、(161 7 ? 101 3) % 和 (241 8 ? 131 6) %，葱类蔬菜氮、磷、钾肥平均增产率则分别为 (461 6 ? 61 2) %、(91 1 ? 51 7) % 和 (151 6 ? 131 4) %，表明增产效果是 $N > K > P$ ；随着土壤肥力水平的下降，氮磷钾肥效明显提高。施肥效益分析表明，就每千克养分增产量而言，叶菜类和葱类蔬菜为 $N > P_2O_5 > K_2O$ ，根茎类和瓜果类蔬菜则为 $P_2O_5 > N > K_2O$ ；施用氮磷钾肥对叶菜类、瓜果类和葱类蔬菜的净增收数为氮肥明显高于钾肥，而钾肥明显高于磷肥；叶菜类和葱类的氮肥产投比明显高于磷钾肥，而根茎类和瓜果类则为磷肥产投比明显高于氮钾肥。

叶菜类蔬菜的土壤养分高产临界指标分别为碱解氮 $243\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ 、Olsen-P $52\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ 和速效钾 $150\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ ，根茎类和瓜果类等蔬菜则分别为碱解氮 $276\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ 、Olsen-P $47\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ 和速效钾 $132\text{ mg}\#\text{kg}^{-1}$ 。148 个土样测定结果表明，土壤碱解氮含量属于 /中0 和 /低0 肥力等级的土样数占 981 6%，土壤 Olsen-P 含量属于 /高0 肥力等级的土样数占 401 5%；土壤速效钾含量属于 /中0 和 /低0 肥力等级的土样数占 881 5%。

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] 陆允甫, 吕晓男. 中国测土施肥工作的进展和展望 [J]. 土壤学报, 1995, 32 (3): 241- 251.

[3] 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: 35- 60.

[4] 张桥, 李淑仪, 梁兆朋, 等. 广东叶菜测土施肥技术指标体系))) 氮素指标初步研究 [J]. 广东农业科学, 2009, (4): 24- 27.

[5] 李淑仪, 张桥, 廖新荣, 等. 广东叶菜测土施肥技术指标体系))) 磷素指标初步研究 [J]. 广东农业科学, 2009, (4): 28- 32.

[6] 廖新荣, 李淑仪, 张育灿, 等. 广东叶菜测土施肥技术指标体系))) 钾素指标初步研究 [J]. 广东农业科学, 2009, (4): 33- 36.

[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: 146- 196.

[8] 杨守春, 陈伦寿, 毛达如. 黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术 [M]. // 黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥研究总论. 北京: 中国农业科技出版社, 1991: 1- 26.

[9] 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, . 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.

[10] 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 (初报) [J]. 土壤学报, 1982, 19 (3): 315- 322.

[11] 李娟, 章明清, 孔庆波, 等. 推荐施肥中校验曲线模型选模方法研究 [J]. 土壤通报, 2010, 41 (3): 668- 671.

[12] 章明清, 徐志平, 姚宝全, 等. 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究, . 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标 [J]. 福建农业学报, 2009, 24 (1): 68- 74.

(责任编辑: 刘新永)