剑麻“3414”施肥效应研究

黄 标,赵家流,夏李虹,黄璐妍,郭成财,李江平,杨 荣 (湛江农垦东方红农场,广东雷州 524251)

摘要 [目的]研究氮磷钾肥对剑麻生产的影响。[方法]在麻园开展“3414”试验,分析肥料使用后,土壤供肥能力、植株对养分吸收量和肥料利用率等。[结果]在一定的施用量范围内,随着N施用量的增加,产量也随之增加,而达到一定的极限时,产量反而降低;P、K的施用量对产量产生效果的趋势是相同的,其规律不明显,可能是土壤P、K含量已充足。试验检测发现,叶片镁含量缺乏,施镁肥可显著促进产量的提高。[结论]该研究可为精准平衡施肥提供参考,从而提高肥料的效益。

关键词 剑麻;“3414”试验;肥效

中图分类号 S143 **文献标识码** A **文章编号** 0517 - 6611(2017)23 - 0109 - 05

Study on “3414” Fertilization Effect of Sisal

HUANG Biao, ZHAO Jia-liu, XIA Li-hong et al (Dongfanghong Farm, Zhanjiang State Farms, Leizhou, Guangdong 524251)

Abstract [Objective] The objective is to study the effect of NPK fertilizer on sisal producing. [Method] The “3414” fertilizer test was carried out to analyze soil supplying nutrient capability, nutrient uptake of plant, fertilizer use efficiency and so on after applying fertilizer in sisal garden. [Result] Among application amount rang, yield increased with N amount increasing, yield decreased when application amount was too high. Effect of P, K application amount on yield was same, but the law was not obvious, it was possible that P, K content of soil was sufficient. Magnesium deficiency was discovered in leaf by detecting. Applying magnesium fertilizer could improve sisal's yield. [Conclusion] The research can offer reference for balanced fertilization.

Key words Sisal; “3414” fertilizer test; Fertilization effect

为探讨更好地利用玄武岩发育的砖红壤种植剑麻,测定其土壤供肥能力、植株对养分吸收量和肥料利用率等指标,以便实施“沃土工程”,即采用测土及结合植株营养含量实施配方施肥,推广营养平衡施肥技术,避免盲目施肥造成肥料资源浪费和环境污染,从而降低成本,尤其实现化肥零增长和精准施肥,提高肥料利用率,培肥地力,改良生态环境,促进剑麻产量、质量、抗性及社会、经济、生态效益的提高[1-16]。为此,我们开展麻园“3414”肥料试验研究,现总结如下。

1 材料与方法

1.1 试验材料 参试品种为H·11648麻(当家种)。

1.2 22 - 3 麻园“3414”试验

1.2.1 试验时间及地点。2008年8月至2010年10月在广东省东方剑麻集团农业研究所(2011年从集团分出,现为湛江农垦东方红农场农科所)选有代表性的22 - 3麻园作为试验田,其土地平坦,地力中等,施用肥料前,土壤养分状况如下:有机质24.79 g/kg,全氮1.21 g/kg,碱解氮113.59 mg/kg,速效磷4.05 mg/kg,速效钾31.69 mg/kg,pH 5.61。植株生长一致,且完整无缺株;旺产麻(中龄麻),施用肥料前,叶片养分状况如下:N、P、K、Ca、Mg含量分别为:1.28%、0.10%、1.77%、3.65%、0.48%。面积3.83 hm^2,已收获5刀,平均产叶片90 t/hm^2,适宜作试验对象。

1.2.2 试验设计。试验选择N、P、K 3个因子,各因子设0,1,2,3共4个水平,从其中优选14个处理参与田间试验。4个水平为:0水平指不施肥;1水平 = 2水平 × 0.5;3水平 = 2水平 × 1.5。其中,2水平设计为施尿素600 kg/hm^2、过磷酸钙750 kg/hm^2、氯化钾675 kg/hm^2。具体处理如下:① $N_0P_0K_0$;② $N_0P_2K_2$;③ $N_1P_2K_2$;④ $N_2P_0K_2$;⑤ $N_2P_1K_2$;⑥ $N_2P_2K_2$;⑦ $N_2P_3K_2$;⑧ $N_2P_2K_0$;⑨ $N_2P_2K_1$;⑩ $N_2P_2K_3$;⑪ $N_3P_2K_2$;⑫ $N_1P_1K_2$;⑬ $N_1P_2K_1$;⑭ $N_2P_1K_1$。

各处理均增施有机肥30 t/hm^2,且除处理①外,各处理均增施石灰2 250 kg/hm^2。该试验设在22 - 3北段,四周均设保护行(区),每处理1次重复,随机排列,每小区0.14 hm^2(即5大行,每大行124株),试验区共1.96 hm^2。

1.2.3 调查统计。营养含量基数调查,于2008年9月上旬(实施前)对该试验田进行土壤及植株叶片采样,检测养分含量基数。土壤采样方法为S形采样,即该试验区共采5个点,在每个采样点处的大行间(避开施肥沟)取0 ~ 20 cm土层的土壤样品1份,5个点共采5份混合成1个样品,供测定土壤养分含量;叶片采样方法是在采土壤点相应位置上,用三角点法选有代表性的3株样株,在各样株心叶下30 ~ 35片叶的位置采一完好叶片,5个点组成1个含15片叶混合样品,供测定叶片养分含量。土壤检测的项目分别为有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、代换性钙、代换性镁及pH值;叶片检测的项目分别为N、P、K、Ca、Mg养分含量。结束后再检测养分1次。以分析测定土壤供肥能力和植株对养分的吸收量及肥料利用率。此外,实施前对各处理选有代表性的样株进行增叶基数标记,并调查存叶数及测定其单叶重、叶长、叶宽、纤维含量等,另外,调查统计各处理的病虫害基数。

实施过程:每年施1次肥,施肥量按试验设计各处理执行;每季度观察1次增叶情况;年底测定叶长、叶宽、单叶重及叶片产量和病虫危害情况。

试验结束:测定各处理纤维含量及质量。此外,其他管

基金项目 东方红片区测土配方施肥补助国家财政项目/国家麻类产业技术体系剑麻试验站项目。

作者简介 黄标(1960—),男,广东遂溪人,农业技术推广研究员,主要从事剑麻栽培、土肥、植保、农机研究。

鸣 谢 该项目得到广东省农垦总局、湛江农垦局、东方剑麻集团等有关领导与专家的大力支持和指导,此外,部分“3414”试验还得到国家麻类产业技术体系剑麻栽培岗位支持,兀彦龙、吴军亮、邓业余、郑立权、黄天来、卢庆富、陈植基、戚强等同志为该项目做了一定的工作,谨此致谢!

收稿日期 2017 - 05 - 24

理技术一致。

1.3 23－1 麻园“3414”试验 因 22－3 麻园“3414”试验的麻龄较老,增加一块低龄麻和施肥水平略调低的麻园试验,以探讨化肥减量的效应。

1.3.1 试验时间及地点。2012 年 4 月—2015 年 12 月在东方红农场农科所 23－1 麻园实施,该田块为 2008 年底种植,面积 3.55 hm^2,2011 年已开割第一刀(已进入成龄麻),产量 52 500 kg/hm^2,地势较平坦,地力中上,较适合布置该试验。

1.3.2 试验设计。试验选择 N、P、K 3 个因子,各因子设 0,1,2,3 共 4 个水平,从其中优选 14 个处理参与田间试验。4 个水平为:0 水平指不施肥;2 水平指以当时湛江垦区平均地力为施肥标准;1 水平 =2 水平 ×0.5;3 水平 =2 水平 ×1.5(该水平为过量施肥水平)。其中 2 水平设计为施尿素 300 kg/hm^2、过磷酸钙 750 kg/hm^2、氯化钾 450 kg/hm^2。具体处理如下:① $N_0P_0K_0$;② $N_0P_2K_2$;③ $N_1P_2K_2$;④ $N_2P_0K_2$;⑤ $N_2P_1K_2$;⑥ $N_2P_2K_2$;⑦ $N_2P_3K_2$;⑧ $N_2P_2K_0$;⑨ $N_2P_2K_1$;⑩ $N_2P_2K_3$;⑪ $N_3P_2K_2$;⑫ $N_1P_1K_2$;⑬ $N_1P_2K_1$;⑭ $N_2P_1K_1$。各处理均增施有机肥 15 000 kg/hm^2,且除处理①外,各处理均增施石灰 2 250 kg/hm^2。该试验设在 23－1 南段,四周均设保护行(区),1 次重复,随机排列,每小区 0.07 hm^2(即 3 大行,每大行 104 株),试验区共 0.98 hm^2。

1.3.3 调查统计。2012 年 4 月 6 日,即实施前:对各处理选有代表性的样株进行标记增叶基数,并调查存叶数及测定其单叶重、叶长、叶宽、纤维含量等,此外,调查统计各处理的病虫害基数。

实施过程:每年施 1 次肥,施肥量按试验设计各处理执行;每季度观察 1 次增叶情况;年底测定叶长、叶宽、单叶重及叶片产量和病虫危害情况。

试验结束:测定各处理纤维含量及质量。此外,其他管理技术一致。

2 结果与分析

2.1 22－3 麻园“3414”试验结果 在 22－3 麻园开展“3414”试验,测定土壤的养分状况、剑麻叶片的养分状况及产量,结果见表 1。

表 1 22－3 麻园“3414”试验施肥水平、养分含量及产量结果

Table 1 Fertilization level, nutrient content and yield of “3414” fertilizer test in sisal garden

处理 Treatment	用量 Amount//kg/hm^2			土壤 Soil						叶片 Leaf					
	N (y_1)	P (y_2)	K (y_3)	有机质 (x_1) Organic matter g/kg	全氮(x_2) Total nitrogen g/kg	碱解氮 (x_3) Available nitrogen mg/kg	速效磷 (x_4) Available phosph-orus mg/kg	速效钾 (x_5) Available potassium mg/kg	pH (x_6)	N 含量 (x_7) Nitrogen %	P 含量 (x_8) Phosph-orus %	K 含量 (x_9) Potassium %	Ca 含量 (x_{10}) Calcium %	Mg 含量 (x_{11}) Magne-sium %	产量(y) Yield kg/hm^2
①	0	0	0	30.77	1.3	105.96	29.81	18.07	5.74	0.83	0.22	1.33	3.92	0.3	99 616
②	0	750	675	32.75	1.61	126.39	25.23	39.16	5.5	1.00	0.12	1.97	2.71	0.19	89 319
③	300	750	675	29.57	1.32	110.00	49.51	45.91	5.89	1.06	0.10	2.03	3.88	0.39	107 280
④	600	0	675	28.44	1.49	104.65	42.04	60.12	6.26	1.13	0.09	2.15	3.87	0.32	93 755
⑤	600	375	675	31.58	1.29	103.78	26.24	38.29	6.55	1.03	0.11	2.13	3.75	0.37	88 194
⑥	600	750	675	28.59	1.44	116.36	30.08	39.17	6.03	1.05	0.10	1.98	3.42	0.45	108 400
⑦	600	1125	675	27.83	1.31	122.17	12.73	32.43	5.01	1.01	0.10	2.02	3.46	0.30	88 005
⑧	600	750	0	30.72	1.54	112.98	45.88	37.2	6.56	1	0.10	1.53	4.08	0.32	100 174
⑨	600	750	338	28.82	1.27	117.83	37.92	29.5	5.38	1.02	0.15	1.83	4.24	0.26	81 759
⑩	600	750	1013	29.4	1.19	122.88	26.22	27.56	6.15	1.08	0.09	2.10	3.72	0.31	105 855
⑪	900	750	675	26.07	1.21	105.88	40.57	49.67	6.28	1.14	0.09	2.14	3.46	0.32	97 981
⑫	300	375	675	31.02	1.55	113.00	39.52	45.82	6.32	1.04	0.14	2.02	3.62	0.32	92 490
⑬	300	750	338	30.24	1.52	119.06	35.48	34.33	6.14	0.93	0.13	1.97	4.26	0.31	86 738
⑭	600	375	338	27.78	1.35	103.22	20.75	40.95	6.22	1.12	0.09	1.67	4.63	0.32	106 932

注:产量为 2009、2010 年 2 年平均值

Note: Data of yield is the mean of 2009－2010

2.1.1 施肥水平与养分含量关系统计分析。

(1)相关性分析。对表 1 结果采用 SAS 软件进行施肥水平与养分含量关系统计分析,相关性分析结果见表 2。结果表明:y_1 与 x_1、x_8 均呈极显著负相关,即施 N 极显著抑制土壤有机质及叶片 P 含量的提高;y_1 与 x_7 呈极显著正相关,即施 N 极显著促进叶片 N 含量的提高。y_2 与 x_3 呈极显著正相关,即施 P 极显著增加土壤碱解氮的含量。y_3 与 x_7、x_9 呈显著和极显著正相关,即施 K 极显著促进叶片 N 及 K 含量的提高;y_3 与 x_8 呈显著负相关,即施 K 显著抑制叶片 P 含量的提高。

另外,其他相关关系分析得出:①x_1 与 x_2 呈显著正相关,即土壤有机质含量的提高会显著促进土壤全氮含量的提高;x_1 与 x_7 呈显著负相关,即土壤有机质含量的提高会显著抑制叶片 N 含量的提高。②x_3 与 x_6 呈显著负相关,即土壤碱解氮含量的提高会显著抑制土壤 pH 值的提高。③x_5 与 x_7 呈极显著正相关,即土壤速效钾含量的提高会极显著促进叶片 N 含量的提高;x_5 与 x_8 呈显著负相关,即土壤速效钾含量的提高会显著抑制叶片 P 含量的提高;x_5 与 x_9 呈显著正相关,即土壤速效钾含量的提高会显著促进叶片 K 含量的提高。

表 2　施肥水平与养分含量相关关系结果

Table 2　Correlation between Fertilization level and nutrient content

项目 Project	y_1	概率 Probability	y_2	概率 Probability	y_3	概率 Probability
y_1	1.000 00		0.257 58	0.374 0	0.257 58	0.374 0
y_2	0.257 58	0.374 0	1.000 00		0.257 58	0.374 0
y_3	0.257 58	0.374 0	0.257 58	0.374 0	1.000 00	
x_1	−0.742 23	0.002 4	−0.189 82	0.515 7	−0.161 77	0.580 6
x_2	−0.455 52	0.101 7	−0.099 03	0.736 3	−0.211 26	0.468 5
x_3	−0.254 12	0.380 7	0.693 05	0.006 0	0.275 66	0.340 1
x_4	0.034 79	0.906 0	−0.170 72	0.559 5	−0.186 76	0.522 6
x_5	0.348 71	0.221 7	−0.160 88	0.582 7	0.375 78	0.185 5
x_6	0.292 65	0.309 9	−0.413 54	0.141 6	−0.035 44	0.904 3
x_7	0.707 62	0.004 6	0.098 15	0.738 5	0.596 81	0.024 2
x_8	−0.662 38	0.009 8	−0.409 01	0.146 5	−0.561 03	0.036 9
x_9	0.379 66	0.180 6	0.277 02	0.347 6	0.889 20	<0.000 1
x_{10}	0.226 29	0.436 6	−0.027 19	0.337 1	−0.522 90	0.055 0
x_{11}	0.365 22	0.199 1	−0.045 65	0.876 8	0.152 18	0.603 5

(2)回归分析。对施肥与土壤及叶片养分含量进行回归分析,其回归方程如下:

$$y_1 = 175.485\,52 - 5.117\,83x_1 + 25.276\,67x_7 - 162.675\,05x_8$$

$$y_2 = -174.674\,99 + 1.890\,88x_3$$

$$y_3 = -128.714\,1 + 30.960\,55x_7 + 40.235\,55x_8 + 66.406\,52x_9$$

2.1.2　产量与养分含量关系统计分析。

(1)相关性分析。对表 1 结果采用 SAS 软件进行产量与养分含量关系统计分析,得出 y 与 $x_1 \sim x_{11}$ 的相关性结果见表 3。结果表明:y 与 x_{11} 呈显著正相关,即叶片 Mg 含量与产量呈显著正相关。

表 3　产量与养分含量相关关系结果

Table 3　Correlation between yield and nutrient content

项目 Project	y	概率 Probability	项目 Project	y	概率 Probability
x_1	−0.257 73	0.373 7	x_7	0.278 60	0.334 8
x_2	−0.188 58	0.518 5	x_8	−0.283 00	0.326 9
x_3	−0.267 35	0.355 5	x_9	−0.181 57	0.534 4
x_4	0.116 15	0.692 5	x_{10}	0.108 73	0.711 4
x_5	0.078 13	0.790 6	x_{11}	0.561 88	0.036 5
x_6	0.343 58	0.229 1			

(2)回归分析。对产量与土壤及叶片养分含量进行回归分析,得到回归方程($F = 5.54$, $P(0.036\,5) < 0.05$,回归显著):$y = 4\,634.450\,17 + 5\,554.524\,02x_{11}$,结果表明:增施 Mg 肥可促进产量显著提高。

2.1.3　肥料效应。N、P、K 施用后,作物吸收量、植株养分含量、肥料利用率与产量效应等指标结果见表 4。结果表明:不施 N 土壤供植株吸收 N 量为 116 ~ 125 kg/hm^2,折合 46% 的尿素 252 ~ 271 kg/hm^2;该土壤施 N 肥(尿素),N 肥利用率为≤25.08%,该利用率严重偏低。不施 P 土壤供植株吸收 P 量为 12 ~ 31 kg/hm^2,折合 16% 的过磷酸钙 77 ~ 194 kg/hm^2;该土壤施 P 肥(过磷酸钙),P 肥利用率为≤9.86%,该利用率偏低。不施 K 土壤供植株吸收 K 量为 186 ~ 214 kg/hm^2,折合 60% 的氯化钾 310 ~ 357 kg/hm^2;该土壤施 K 肥(氯化钾),K 肥利用率为≤22.52%,该利用率亦严重偏低。

表 4　22 −3 麻园“3414”试验中不同处理肥料利用率和作物吸收量

Table 4　Fertilizer use efficiency, crop uptake of “3414” fertilizer test in 22 −3 sisal garden

处理 Treatment	产量 Yield//kg/hm^2 2009 年	2010 年	平均值 Mean	N 含量 Nitrogen-content %	作物吸 N 量 Nitrogen uptake kg/hm^2	折合尿素 Calculated urea kg/hm^2	N 利用率 N use efficiency %	P 含量 Phosphorus content %	作物吸 P 量 Phosphorusuptake kg/hm^2	折合过磷酸钙 Calculated calcium superphosphate kg/hm^2	P 利用率 P use efficiency %	K 含量 Potassium content %	作物吸 K 量 Potassium uptake kg/hm^2	折合氯化钾 Calculated potassium chloride kg/hm^2	K 利用率 K use efficiency %
①$N_0P_0K_0$	105 729	93 503	99 616 ABC	0.830	116	252		0.222	31	194		1.334	186	310	
②$N_0P_2K_2$	90 894	87 744	89 319 CD	0.997	125	271		0.119	15	93	2.17	1.970	246	411	7.92
③$N_1P_2K_2$	109 801	104 758	107 280 AB	1.060	159	346	25.08	0.096	14	90	1.75	2.034	306	509	22.52
④$N_2P_0K_2$	92 380	95 130	93 755 ABCD	1.127	148	322	8.45	0.094	12	77		2.151	282	471	16.81
⑤$N_2P_1K_2$	85 944	90 444	88 194 CD	1.026	127	275	0.75	0.109	14	84	2.04	2.131	263	438	12.04
⑥$N_2P_2K_2$	109 368	107 432	108 400 A	1.053	160	347	12.75	0.102	16	97	2.72	1.983	301	502	21.39
⑦$N_2P_3K_2$	93 093	82 918	88 005 CD	1.013	125	271	0.05	0.103	13	80	0.25	2.023	249	415	8.62
⑧$N_2P_2K_0$	103 561	96 786	100 174 ABC	0.999	140	305	5.59	0.101	14	88	1.53	1.528	214	357	
⑨$N_2P_2K_1$	83 668	79 848	81 759 D	1.017	116	253		0.148	17	106	3.90	1.828	209	349	
⑩$N_2P_2K_3$	109 343	102 368	105 855 AB	1.076	160	347	12.63	0.091	14	85	1.05	2.105	312	520	16.06
⑪$N_3P_2K_2$	101 019	94 944	97 981 ABC	1.141	157	340	7.71	0.088	12	75		2.144	294	490	19.71
⑫ $N_1P_1K_2$	94 918	90 062	92 490 BCD	1.038	134	292	7.06	0.141	18	114	9.86	2.022	262	437	11.74
⑬$N_1P_2K_1$	95 682	77 794	86 738 CD	0.932	113	246		0.13	16	99	2.91	1.97	239	399	12.29
⑭ $N_2P_1K_1$	115 104	98 760	106 932 AB	1.120	168	365	15.61	0.091	14	85	2.28	1.669	250	416	17.54

2.1.4　产量与效益。

(1)施肥量与产量关系。从图 1、2 可见,N、P、K 的施用量与产量的关系在 2009 和 2010 年呈现的规律大体一致。在一定的施用量范围内,随着 N 施用量的增加,产量也随之增加,而达到一定的极限时,产量反而降低;P、K 的施用量对产量产生效果的趋势是相同的,其规律不明显,可能是土壤 P、K 含量已充足。

(2)2009、2010 年施肥与产量单因素分析。由表 5 可见,2009 年产量单因素统计分析,N、P、K 经济施肥量均为不施肥,其最大施肥量分别为 516、757、360 kg/hm^2,产叶片分别达

到 111 617、98 935、94 344 kg/hm^2,其中 N 在一定范围内增施可极显著促进增产;增施 P 增产效果不显著;在一定范围内增施 K 可显著促进增产。

2010 年产量单因素统计分析,N、P、K 经济施肥量均为不施肥,其最大施肥量分别为 499、488、254 kg/hm^2,产叶片分别达到 108 139、100 372、91 243 kg/hm^2,其中 N 在一定范围内增施仍极显著促进增产,可见老龄麻 N 要充足;在一定范围内增施 P 可显著促进增产;增施 K 反而不显著,可见老龄麻不缺 K 时后期无需增施 K。

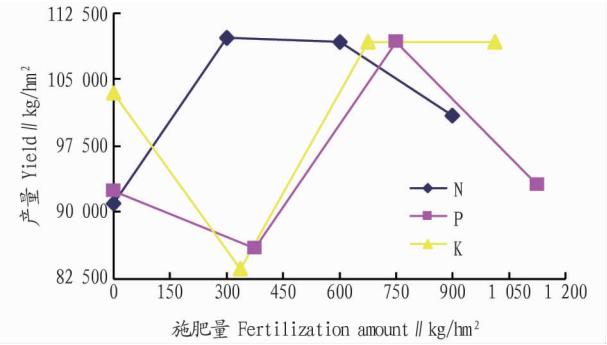

图 1 2009 年产量与施肥量的关系

Fig. 1 Relationship between yield and fertilization amount in 2009

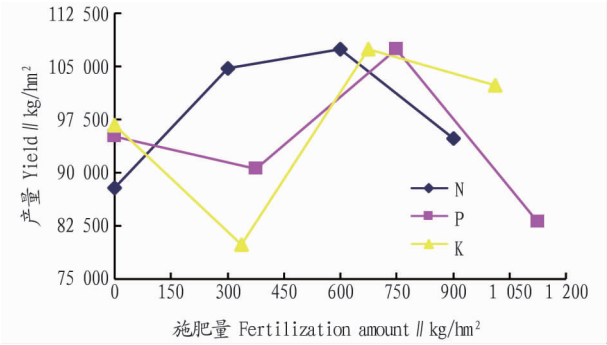

图 2 2010 年产量与施肥量的关系

Fig. 2 Relationship between yield and fertilization amount in 2010

表 5 施肥与产量单因素分析结果

Table 5 Results Univariate analysis about yield and fertilization amount

年度 Year	N 肥效应 N fertilizer effect			P 肥效应 P fertilizer effect			K 肥效应 K fertilizer effect		
	处理 Treatment	N 水平 N level	产量 Yield kg/hm^2	处理 Treatment	P 水平 P level	产量 Yield kg/hm^2	处理 Treatment	K 水平 K level	产量 Yield kg/hm^2
2009 年	*R* 值	0.986 144	111 617	*R* 值	0.436 303	98 935	*R* 值	0.655 227	
	N 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	516	111 617	P 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	757	98 935	K 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	360	94 344
	N 肥经济施肥量	0	0	P 肥经济施肥量	0	0	K 肥经济施肥量	0	0
2010 年	*R* 值	0.999 931		*R* 值	0.608 909		*R* 值	0.556 388	
	N 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	499	108 139	P 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	488	100 372	K 肥最大施肥量 (kg/hm^2)	254	91 243
	N 肥经济施肥量	0	0	P 肥经济施肥量	0	0	K 肥经济施肥量	0	0

注:$r_{0.05}=0.608$;$r_{0.01}=0.712$。
Note:$r_{0.05}=0.608$;$r_{0.01}=0.712$。

(3)2009、2010 年施肥与产量三因素分析。由表 6 可见,2009、2010 年三因素分析表明最佳施肥方案就是不施肥,此外,2009 和 2010 年 N、P、K 最大施肥量均为 624、603、660 kg/hm^2 时,产量为 101 394 kg/hm^2。另外,到 2009 年暂时缺 N 或缺 P 或缺 K 或空白,其相对产量也可达到 83.11%、84.47%、94.69% 和 96.67%。2010 年暂时缺 N 或缺 P 或缺 K 或空白,其相对产量也可达到 83.11%、84.47%、94.69% 和 87.03%,但空白的下滑速度快,由 2009 年相对产量的 96.67%,下滑到 87.03%。2 年平均仅肥料投入与产出比为 1∶5.1。

表 6 施肥与产量三因素分析结果

Table 6 Results of three factors analysis about yield and fertilization amount

序号 No.	项目 Project	2009 年					2010 年				
		df	SS	MS	*F*	$F_{0.05}$	*df*	SS	MS	*F*	$F_{0.05}$
1	回归分析	9	2 800 504	311 167.1	0.461 648	6	9	2 800 504	311 167.1	0.461 648	6
2	残差	4	2 696 139	674 034.7			4	2 696 139	674 034.7		
3	总计	13	5 496 643				13	5 496 643			
4		N	P	K	产量		N	P	K	产量	
5	最大施肥量	624	603	660	101 394		624	603	660	101 394	
6	最佳施肥量	0	0	0	0		0	0	0	0	
7		缺 x_1	缺 x_2	缺 x_3	空白		缺 x_1	缺 x_2	缺 x_3	空白	
8	缺素相对产量//%	83.11	84.4778	94.69	96.67		83.11	84.47	94.69	87.03	

综上,最佳经济为不施肥,其主要原因是原试验地长期注重配施 N、P、K 肥,养分比较充足,且剑麻为长期作物,根

系发达[15]，吸收能力强，因此短期内（即 1～2 年）不施 N、P、K 化肥对产量的影响暂时不明显，但若多年完全不施肥，将会导致养分缺乏，麻头收缩便难以恢复，产量下降幅度大。

2.1.5 产量分析。由表4 可见，处理⑥即施 N 600 kg/hm²、P 750 kg/hm²、K 675 kg/hm² 的产量最高，为 108 400 kg/hm²，产量显著或极显著高于其他处理，该水平也是当时湛江垦区中老龄麻平均地力的施肥标准。但增施有机肥达到 45 000 kg/hm²的情况下，其施肥标准可下调至：N（尿素）450～525 kg/hm²、P（过磷酸钙）600～675 kg/hm²、K（氯化钾）450～525 kg/hm²。此外，处理③、⑭、⑩也获得较高产量，且处理间无显著差异，其产量显著或极显著高于处理②、④、⑤、⑦、⑧、⑨、⑪、⑫、⑬。

2.2 23－1 麻园“3414”试验 由表 7 可见，处理⑪即成龄麻施 N 450 kg/hm²、P 750 kg/hm²、K 450 kg/hm² 的产量最高，为 122 490 kg/hm²；其次处理⑩即施 N 300kg/hm²、P 750 kg/hm²、K 675 kg/hm²，产量为 105 855 kg/hm²。则中龄麻前要确保 P、K 肥的投入。

表 7 23－1 麻园“3414”试验施肥水平与 3 年的平均产量结果

Table 7 Fertilization level and average yield in 3 years of “3414” fertilizer test in 23－1 sisal garden

处理 Treatment	区组 Block	N	P	K	产量 Yield//kg/hm²
1	$N_0P_0K_0$	0	0	0	80 085
2	$N_0P_2K_2$	0	750	450	104 340
3	$N_1P_2K_2$	150	750	450	89 145
4	$N_2P_0K_2$	300	0	450	84 225
5	$N_2P_1K_2$	300	375	450	92 595
6	$N_2P_2K_2$	300	750	450	93 795
7	$N_2P_3K_2$	300	1125	450	81 855
8	$N_2P_2K_0$	300	750	0	91 545
9	$N_2P_2K_1$	300	750	225	101 175
10	$N_2P_2K_3$	300	750	675	105 855
11	$N_3P_2K_2$	450	750	450	122 490
12	$N_1P_1K_2$	150	375	450	89 055
13	$N_1P_2K_1$	150	750	225	93 315
14	$N_2P_1K_1$	300	375	225	90 090

注：产量为 2012、2013、2014 年 3 年平均产量

Note：Data of yield was the mean of 2012－2014

3 结论与讨论

（1）NPK 平衡配比可获得高产，偏施 N 会抑制叶片 P 含量的提高，故不能偏施，以免影响养分平衡而不利产量提高，尤其幼龄麻抗斑马纹病能力下降，致该病暴发。因此，未开割麻相对控氮，以提高抗斑马纹病能力。

（2）试验检测发现，叶片 Mg 含量缺乏，施 Mg 肥可显著促进产量的提高。

（3）试验结果表明，N、P、K 肥利用率低，N 肥≤25.08%、P 肥≤9.86%、K 肥≤22.52%，主要原因：①施肥较晚，很快入冬致旺长期短及施肥时土壤干旱，而影响吸收利用率的提高；②土壤酸性较强，而 P 肥（过磷酸钙）很大程度被土壤固定，也影响吸收利用率的提高，今后应考虑提高肥料利用率问题。

（4）短期内经济施肥量为不施肥（空白），其短期内不施肥产量仍达到施肥水平的 87%。其主要原因是试验地长期注重配施 N、P、K 肥，并增施有机肥，因此养分比较充足，且剑麻为长期作物，根系非常发达，吸收能力极强，故短期内（即 1～2 年）不施肥对产量影响不明显，但不利于促进剑麻产量大幅度提高和培肥地力。

参考文献

[1] 黄标，张曼其，陈叶海，等. 剑麻营养诊断指导施肥技术的开发与应用[J]. 热带农业科学，2001(1)：10－18.

[2] 许能琨，林苾，赵俊林. H·11648 麻对氮、磷、钾、钙、镁肥及其不同用量的反应[C]//中国热带作物学会剑麻专业委员会. 剑麻学术论文集. [出版地不祥]：[出版者不详]，1987：12－13.

[3] 黄标，符清华. H·11648 麻茎腐病发生规律及防治研究[J]. 热带作物研究，1990，41(3)：38－45.

[4] 余让水，林苾，许能琨，等. H·11648 麻采样方法研究[J]. 中国麻作，1992(1)：43－46.

[5] 林苾，许能琨，余让水，等. 几种钙肥对剑麻 H·11648 的肥效及用量[J]. 中国麻作，1990(2)：37－39.

[6] 余让水，林苾，许能琨，等. 龙舌兰杂种 11648 号麻主要矿质营养缺乏症研究[J]. 中国麻作，1991(1)：37－41.

[7] 裴超群，陶玉兰，黄强. 谈谈剑麻的施肥[C]//中国热带作物学会剑麻专业委员会. 剑麻学术论文集. [出版地不祥]：[出版者不详]，1988：34－37.

[8] 严富传. 东方农场 H·11648 麻的平衡施肥[C]//中国热带作物学会剑麻专业委员会. 剑麻学术论文集. [出版地不祥]：[出版者不详]，1990：22－24.

[9] 林苾，余让水，许能琨. 广西两种植麻土壤五要素肥效试验报告[J]. 广西热作科技，1990(3)：1－5.

[10] 林盛忠，黄仕英. 东一号麻肥料三要素追肥正交试验总结[J]. 热带作物研究，1989(4)：30－37.

[11] 林盛忠. 从钾与钙的关系看叶片营养诊断与土壤营养诊断相结合的重要性[C]//中国热带作物学会剑麻专业委员会. 剑麻学术论文集. [出版地不祥]：[出版者不详]，1992：57－60.

[12] 许能琨，林苾，黄标，等. 剑麻茎腐病与营养施肥关系研究初报[J]. 热带作物研究，1991，43(1)：66－71.

[13] 张少若. 热带作物营养与施肥[M]. 北京：中国农业出版社，1996：158－169.

[14] 马斯纳 H. 高等植物的矿质营养[M]. 曹一平，等译. 北京：北京农业大学出版社，1988：137－144.

[15] 李道和，谢思高，范运权，等. 剑麻[M]. 广州：广东科技出版社，1981：7－11.

[16] 杨荣，黄标，梁明，等. 剑麻种植生产专用机械的研制与应用推广[J]. 安徽农业科学，2015，43(34)：6－9.

（上接第 108 页）

行相关分析，结果表明坡度是影响土壤侵蚀的动力因子，在一定的坡度范围内，随着坡度的增加，土壤侵蚀量与坡度呈幂函数递增关系。

参考文献

[1] 缪驰远，何丙辉，陈晓燕. 水蚀模型 USLE 与 WEPP 在紫色土水蚀预测中的应用对比研究[J]. 农业工程学报，2005，21(1)：13－16.

[2] 何丙辉，缪驰远，陈晓燕，等. CLIGEN 气候生成器模型在紫色土地区的适应性研究[J]. 水土保持学报，2007，21(3)：183－187.

[3] 何建林. WEPP 模型预测参数在紫色土区的研究[D]. 重庆：西南大学，2010.

[4] 代华龙，曹叔尤，刘兴年，等. 基于 WEPP 模型的紫色土坡面水蚀预报[J]. 中国水土保持科学，2008，6(2)：60－65.

[5] 李振林，何丙辉，何建林，等. 紫色土区 WEPP 模型不同地类下预测参数敏感性分析[J]. 云南农业大学学报，2013，28(5)：654－660.

[6] 刘淑燕，秦富仓，项元和，等. 基于 WEPP 模型进行坡度因子与侵蚀量关系研究[J]. 干旱区资源与环境，2006，20(4)：97－101.