

水稻营养诊断研究——诊断图法

丘星初

(江西省赣州地区农业科学研究所)

STUDY ON DIAGNOSIS OF RICE NUTRITION STATUS—— GRAPHIC METHOD FOR DIAGNOSIS

Qiu Xingchu

(Institute of Agricultural Sciences of Gan Zhou Prefecture, Jiangxi Province)

作物植株营养诊断研究所要解决的问题,正如李庆远教授所指出的:第一是分析方法;第二是采样问题;第三是分析数据和作物生长或产量之间的相关性;第四是把分析结果应用于施肥指导^[1]。近年来,我们在解决上述四个问题上进行了一系列的试验研究,现将试验结果报告于后。

一、采样、分析和田间试验设计

选取植株分析的灵敏部位是水稻营养诊断中首先应当解决的问题。水稻一生的总叶片数虽因品种不同而不等,但在每个生育期出现的叶片数却不多,一般为3—5片。我们的结果表明,选取完全展开的心叶下的第一片叶的最中部位位置较为适宜,因此叶片中的氮磷钾养分比较稳定,对施肥的反应也较敏感。

水稻植株营养诊断方法甚多^[1]。本文应用参考文献[3]所介绍的方法,此法系用“打洞机”直接在田间钻取稻叶小圆片作为分析样品。将取得的样品置于试管中用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 湿烧制备待测液。用奈氏(Nessler)试剂比色法测定全氮;用三价铈存在下的抗坏血酸还原比色法测定全磷;四溴荧光素存在下的18-冠-6苯萃取比色法^[4]或火焰光度法测定全钾^[1]。分析结果以每平方厘米叶片所含氮磷钾的微克数表示。

大量分析结果表明,上述方法具有良好的准确度和精密度,与常规法两者之间有极显著的正相关。同时,设备简单,分析速度较快,在生产上应用时能做到不误农时。

我们通过田间试验对上述诊断方法进行考查。田间试验设计共11个处理,即CK(不施肥), N_{30} (亩施纯氮30斤), P_{15} (亩施 P_2O_5 15斤), K_{30} (亩施 K_2O 30斤), $N_{30}P_{15}$, $N_{30}K_{30}$, $P_{15}K_{30}$, $N_{30}P_{15}K_{30}$, $N_{10}P_{10}K_{10}$, $N_{20}P_{10}K_{20}$, $N_{40}P_{10}K_{40}$ 。各处理重复两次,共计22个小区。每小区面积0.05亩,随机排列,均作田埂。供试肥料全用化肥:氮肥用尿素(按含N45%计);磷肥用过磷酸钙(按 P_2O_5 18%计);钾肥用氯化钾(按 K_2O 50%计)。施法为基追各半,追肥按面肥:分蘖肥:穗肥=5:3:2施用。水稻插植密度视品种特性而定。试验田管理与大田相同。考虑到土壤和气候条件的代表性,试验分别在本所、上犹、石城和于都四地进行。供试土壤的农化性状列于表1。

取样诊断自水稻分蘖开始按生育期进行。分析结果用数理统计方法处理。

表 1 供试土壤的农化性状

试验地点	土壤类型	母质	肥力	前作	水稻供试品种	养分含量 (ppm)		
						碱解氮	速效磷	速效钾
本所	紫色土	第三纪紫砂页岩	低	晚稻冬闲	红梅早	32	38	25
上犹	冲积土	河流冲积物	低	晚稻冬闲	中国选	35	36	80
石城	红壤	花岗岩风化物	中	紫云英	珍珠矮		—	
于都	红壤	第四纪红色粘土	高	早稻	汕优 2 号		—	

二、结果和讨论

(一) 水稻叶片中 N, P, K 含量的变化与施肥的关系

首先,从统计稻谷亩产 800 斤以上的水稻各生育期的养分平均值及其比值所得的吸收曲线(图 1, 2)来看,叶片中氮素浓度随着分蘖的进行而急剧下降,至幼穗形成期达最低点,随后又迅速回升,自孕穗以后则一直平稳缓慢下降。而磷和钾的吸收在营养生长期逐步上升至幼穗形成期达高峰,在随后的生殖生长期又下降。与此相应的 N/K 和 N/P 均呈“V”字形,而 K/P 的变幅则很小。水稻在幼穗分化前是以氮代谢为主的营养生长,此后转为以碳代谢为中心的生殖生长。显然,三要素养分的吸收的变化规律,则与此生理要求是相适应的。看来此结果不但表明叶片诊断方法的可行,而且具体数量还将作为诊断指标的参考,在下面予以讨论。

其次,从不同肥力的土壤上施肥试验中各生育期测得的 N, P, K 的平均吸收量来看,氮磷之间有交互作用,施氮能促进磷素的吸收,其增加量在 4.4—12%; 施磷对氮的吸

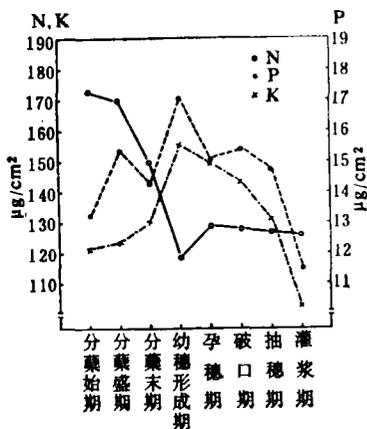


图 1 水稻叶片中氮磷钾的吸收曲线

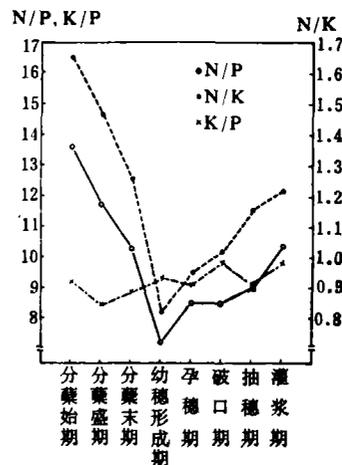


图 2 各生育期中元素比值的变化曲线

收量也有不同程度的增加。相反地,氮钾之间有拮抗作用,施钾引起氮素吸收量降低。而磷钾之间的影响则是很小的。

再次,施肥量的多少对植株养分的吸收则与土壤基础肥力有关。在高产土壤上施肥对植株养分吸收量的影响很小,而在低产土壤上则不同,随施肥量的增加,三要素的吸收量都有不同程度的增加,递增速度以氮素最大,钾素次之,磷素最小。但施肥量过多时,叶片中三要素的积累量过剩,并不能获得相应的增产效益,反而浪费肥料,所以应用植株营养诊断方法来控制施肥量就很必要了。

(二) 水稻叶片中 N, P, K 含量与水稻经济性状的相关性

表 2 结果表明: (1)分蘖期总苗数的多少与稻叶内氮素含量呈极显著的正相关,说明提高苗期叶片中的氮素含量能促进分蘖,但与成穗率又呈极显著的负相关,表明氮素过量又会产生过多的无效分蘖,因此,在高产栽培上控制分蘖后期的叶片含氮量具有重要意义。苗数与钾素含量呈显著正相关,但成穗率与钾素含量的负相关更为显著,因此分蘖期内的钾素含量不宜过多。(2)每穗实粒数与钾素含量的正相关极为显著,表明幼穗分化开始后提高叶片内的钾含量有利增加实粒数。每穗实粒数与氮素含量的负相关也极为显著,表明抽穗后叶片含氮量不宜过高。(3)千粒重与磷钾含量均呈极显著正相关,说明水稻抽穗以后,提高叶片磷钾含量有利于提高千粒重。

表 2 水稻主要经济性状与叶片元素含量的相关系数 (r 值) (品种为珍珠矮, 3 月 26 日播种, 5 月 3 日插秧, 行株距 6×4 寸, 7 月 31 日收获)

测试项目	N	P	K	测试项目	N	P	K
苗数	0.621**	0.274	0.505*	每穗实粒	0.660**	0.303	0.537**
有效穗	0.026	0.416	0.415	结实率	-0.820**	-0.027	-0.061
成穗率	-0.586**	-0.422	-0.577**	千粒重	-0.360	0.550**	0.542**

$n = 22$; * 5% 水平显著; **1% 水平显著。

统计水稻自分蘖至抽穗各生育期叶片中三要素的平均值 X_i 与其稻谷产量 Y 的回归关系, 所得回归方程如下:

红梅早: $Y = -575 + 1.38X_N + 50.88X_P + 2.35X_K$ (复相关系数 $R = 0.815$; 产量范围: 404—912 斤/亩)

汕优 2 号: $Y = -70 + 4.13X_N + 9.38X_P + 1.99X_K$ (复相关系数 $R = 0.746$; 产量范围: 768—1032 斤/亩)

上列三元回归关系, 经方差分析证明是高度显著的 ($n = 22, p < 0.01$)。因此在统计学的基础上, 可以设法运用诊断方法指导施肥来调节各生育期氮磷钾养分的含量来达到较高的产量水平, 或者相反, 根据回归方程, 从已得的诊断结果来预报稻谷产量都是可能的。当然, 由于稻谷产量并非单纯由营养状况来决定, 而且还受许多其他因素所制约, 故可以想象, 回归方程中的常数项和三要素的回归系数均可能出现显著的差异。但在局部地区, 当条件(如品种和栽培措施)限制较严的情况下, 又能掌握好采样和三要素的测定技术, 则能提高回归精度并应用三元回归方程进行产量预报。

(三) 关于营养诊断指标及诊断图

根据上述结果和讨论, 我们认为水稻叶片单位面积中所含 N, P, K 量及其比值可以作为水稻营养诊断的指标。我们统计了江西赣州地区双季稻亩产量 800 斤以上的田块, 也考虑到当地的常规品种和杂交水稻, 其结果列于表 3。

为了合理而简便地应用这些诊断结果, 我们参照了 Beaufils 发展起来的“诊断和建议

表 3 水稻营养诊断的初步标准

水稻生育期	统计资料数	元素	平均值 \bar{x}	标准差 S	变异系数 C.V%	元素比值	平均值 \bar{x}	标准差 S	变异系数 C.V%
分蘖始期	62	N	173	26	15.0	N/P	13.6	2.0	14.7
		P	13.3	1.9	14.3	N/K	1.66	0.40	24.1
		K	122	25	20.5	K/P	9.2	2.3	25.0
幼穗形成期	50	N	119	17	14.3	N/P	7.2	1.1	15.3
		P	17.1	1.1	6.4	N/K	0.82	0.19	23.2
		K	155	20	12.9	K/P	9.3	1.9	20.4
孕穗期	38	N	129	21	16.3	N/P	8.5	1.2	14.1
		P	15.1	1.8	11.9	N/K	0.95	0.19	20.0
		K	150	25	16.7	P/K	9.1	1.9	20.9
抽穗期	62	N	127	20	15.7	N/P	9.0	1.5	16.7
		P	14.8	1.6	10.8	N/K	1.16	0.22	19.0
		K	132	29	22.0	P/K	9.0	1.8	20.0
灌浆期	62	N	126	17	13.5	N/P	10.4	1.6	15.4
		P	11.5	1.1	9.6	N/K	1.22	0.27	22.1
		K	103	19	18.4	P/K	9.8	2.0	20.4

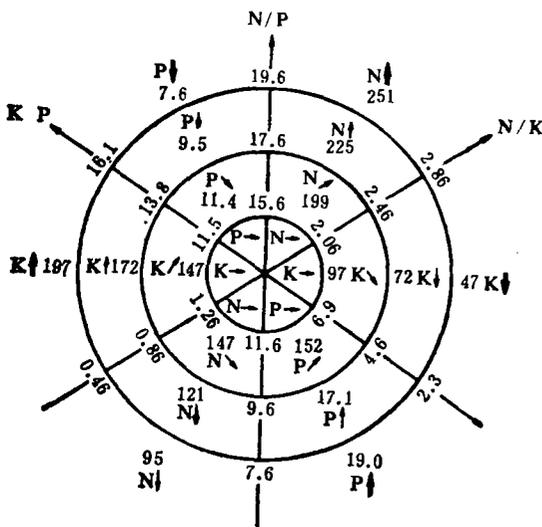


图 3 分蘖始期诊断图

的综合系统”(简称 DRIS) 的方法^[6], 初步尝试作成诊断图(图 3)。关于作图的根据和原则, Sumner 的文章中作了介绍^[6,7], 他根据文献上列出经选用的上千个数据(如小麦和玉米叶片的 N, P, K 含量), 考虑到总体的变异性提出同心圆的直径为 $4/3 S$ 和 $8/3 S$ 。这种方法国外在甜菜、大豆、橡胶树上也都有应用。在水稻上我们是初步尝试, 按照统计估计的习惯标准, 选用了 $\bar{x} \pm S$ 作为养分平衡的临界范围, 介于 $\bar{x} \pm S$ 和 $\bar{x} \pm 2S$ 之间的则认为养分不足或略有偏高, 在 $\bar{x} \pm 2S$ 和 $\bar{x} \pm 3S$ 范围则视为养分缺乏或偏高, 而在 $\bar{x} \pm 3S$ 之外者则认为严重

表 4 诊断指标对不同施肥处理的反应(水稻品种：红梅早)

编号	取样日期	生育期	施肥处理	诊断结果 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$			与临界值比较			元素比值			与诊断图比较			诊断结论
				N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
1			CK	85.4	12.8	71.5	↓	↗	↓	6.67	1.19	5.59	↘	→	↘	严重缺氮, 钾低
2			N ₉₀	161	11.9	37.3	→	↗	↓	13.5	4.31	3.13	↘	→	↘	严重缺钾
3			P ₁₅	90	12.5	52	↓	↗	↓	7.2	1.73	4.16	↘	→	↘	严重缺氮钾
4	五月	分蘖盛期	K ₅₀	79.4	13.5	116	↓	↗	→	5.81	0.68	8.59	↘	→	↘	严重缺氮
5			N ₃₀ P ₁₅	242	16.3	39.3	↑	↗	↓	14.9	0.16	2.41	↘	→	↘	严重缺钾
6	二十五日		N ₃₀ K ₅₀	146	14.1	109	→	↗	→	10.4	1.34	7.73	↘	→	↘	养分平衡
7			P ₁₅ K ₅₀	75.5	14.2	123	↓	↗	→	5.32	0.61	8.66	↘	→	↘	严重缺氮
8			N ₃₀ P ₁₅ K ₅₀	184	16.2	133	→	↗	→	11.4	1.38	8.21	↘	→	↘	养分平衡
1			CK	75.4	17.0	102	↓	↗	↘	4.44	0.74	6.0	↘	→	↘	严重缺氮, 钾低
2			N ₉₀	125	16.0	50.7	→	↗	↓	7.82	2.47	3.17	↘	→	↘	严重缺钾
3			P ₁₅	65.3	14.5	78.9	↓	↗	↓	4.50	0.85	5.44	↘	→	↘	严重缺氮, 钾低
4	六月	孕穗期	K ₅₀	64.6	12.3	11.7	↓	↗	↘	5.25	0.55	9.51	↘	→	↘	严重缺氮
5			N ₃₀ P ₁₅	120	17.4	49.3	→	↗	↓	6.90	2.43	2.83	↘	→	↘	严重缺钾
6	十三日		N ₃₀ K ₅₀	91.4	14.1	172	↘	↗	→	6.48	0.53	12.2	↘	→	↘	氮偏低
7			P ₁₅ K ₅₀	84.1	13.6	125	↓	↗	→	6.18	0.67	9.19	↘	→	↘	缺氮
8			N ₃₀ P ₁₅ K ₅₀	87.6	14.5	177	↘	↗	↘	6.04	0.41	12.2	↘	→	↘	氮偏低
1			CK	115	9.93	71.2	→	↗	↘	11.8	1.62	7.32	↘	→	↘	钾偏低
2			N ₉₀	170	14.3	51.1	↑	↗	↘	11.9	3.33	3.57	↘	→	↘	严重缺钾
3			P ₁₅	98.7	9.6	66	↘	↗	↘	10.7	1.50	6.88	↘	→	↘	钾氮偏低
4			K ₅₀	75.8	9.6	88.6	↓	↗	↘	7.9	0.86	9.27	↘	→	↘	缺氮
5			N ₃₀ P ₁₅	141	13.6	66	→	↗	↘	10.4	2.17	4.85	↘	→	↘	严重缺钾
6	七月三日	灌浆期	N ₃₀ K ₅₀	145	14.4	79.9	↘	↗	↘	10.1	1.81	5.55	↘	→	↘	钾偏低
7			P ₁₅ K ₅₀	76.5	10.7	83.4	↓	↗	↘	7.15	0.92	7.79	↘	→	↘	严重缺氮
8			N ₃₀ P ₁₅ K ₅₀	133	14.2	88.6	→	↗	↘	9.36	1.49	6.25	↘	→	↘	养分平衡

产量(斤/亩): CK——404, N——584, P——432, K——552, NP——672, NK——904, PK——549, NPK——881。

表 5 诊断指导施肥的效果试验
(品种为红梅早,小区面积为 0.05 亩,随机排列,行株距为 6 × 5 寸)

处理号	生育期	诊断结果 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			与诊断图比较			元素比值			与诊断图比较			诊断结论	施肥措施 (斤/亩)	产量 (斤/亩)	增产率 (%)
		N	P	K	N	P	K	N/P	N/K	K/P	N	P	K				
1	幼穗形 成期	134	19.5	53.2	→	↑	↓	6.88	2.52	2.72	→	→	↓↓	严重缺钾	氯化钾 16斤		
2		140	18.7	48.5	↗	↗	↓	7.47	2.88	2.59	→	→	↓↓	严重缺钾	氯化钾 16斤		
3		134	18.3	48.5	→	↗	↓	7.33	2.76	2.65	→	→	↓↓	严重缺钾,不 施肥	对照,不 施肥		
4		125	18.2	43.7	→	↗	↓	6.85	2.85	2.40	→	→	↓↓	严重缺钾	尿素16		
1	孕穗期	64.0	17.5	102	↓	↗	↘	3.65	0.63	5.82	↓↘	→	↘	严重缺氮	尿素8斤	718	26.9
2		83.0	17.4	102	↓	↗	↘	4.77	0.81	5.86	↓	→	↘	缺氮	不施肥	626	10.6
3		121	18.4	63.5	→	↗	↓	6.55	1.90	3.45	↘	→	↓↓	严重缺钾	不施肥	590	4.2
4		221	24.8	42.1	↑	↑	↓	8.93	5.26	1.70	→	→	↓↓	严重缺钾	不施肥	566	

缺素或过量。

对于上述指标为了应用上的方便,可根据表 3 的数据作出三个同心圆组成的诊断图,图中圆心为元素含量及其比值的平均值 \bar{X} ,内圆区为养分平衡区,其值为 $\bar{X} \pm S$,用平行箭号 \rightarrow 表示;介于内圆区和中圆区之间为养分不足或略有偏高区,其值为 $\bar{X} \pm 2S$,用 45° 短箭号向下 \searrow 或向上 \nearrow 表示;介于中圆和外圆区之间为养分缺乏或偏高区,其值为 $\bar{X} \pm 3S$,用箭号垂直向下 \downarrow 或向上 \uparrow 表示;在外圆之外为严重缺素或过量区,其值小于 $\bar{X} - 3S$ 或大于 $\bar{X} + 3S$,用双箭号垂直向下 \Downarrow 或向上 \Uparrow 表示。图 3 是一个例子,为分蘖始期的诊断图。根据此图,氮素的丰缺指标为:

若 $N < 147$, $N/P < 11.6$, $N/K < 1.26$ 表示氮素不足;

$N < 121$, $N/P < 9.6$, $N/K < 0.86$ 表示氮素缺乏;

$N < 95$, $N/P < 7.6$, $N/K < 0.46$ 表示严重缺氮。

若 $N > 199$, $N/P > 15.6$, $N/K > 2.06$ 表示氮素略有偏高;

$N > 225$, $N/P > 17.6$, $N/K > 2.46$ 表示氮素偏高;

$N > 251$, $N/P > 19.6$, $N/K > 2.86$ 表示氮素过量

磷钾的丰缺指标,照此类推。

为了验证上述诊断指标,结合我所紫色土上的施肥试验发现,诊断指标对施肥的反应是很敏感的,不同的施肥处理与诊断结论基本一致(表 4)。

为进一步验证诊断后指导施肥的效果,于四个完全相同的施肥处理中,在幼穗形成期采样诊断,所得结果(表 5)表明,虽然由于土壤肥力差异和取样测试误差的影响致使分析结果不完全相同,但都得共同的诊断结论:严重缺钾。于是在第 1, 2 两个处理中,每亩施氯化钾 16 斤,以第 3 处理为对照;在第 4 处理中不按诊断结论施肥,而亩施尿素 16 斤。施肥后在孕穗期再诊断,结果表明不施肥的处理仍然缺钾,特别是施氮的第 4 处理缺钾严重加剧招致赤枯病的发生;而施钾处理其需肥次序发生改变,由缺钾而转变为缺氮了。于是在第 1 处理中亩施尿素 8 斤,其余处理均为对照不再施肥。产量结果表明,第 4 处理严重减产,较不施肥的对照减产 4.2%,较施钾的对照减产 10.6%。而按诊断结果指导施肥的第 1 处理产量最高,比不施肥的对照增产 21.7%,比误施氮肥的第 4 处理增产 26.9%。看来,用本诊断法在生产上是有效果的。在赣州地区各县推行此诊断法时,也同样取得较好的效果,其增产率在 4.5—89% 之间。

参 考 文 献

- [1] 李庆远, 1978: «土壤农化参考资料», 第 1 期, 第 9 页。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社, 423—431 页。
- [3] 丘星初, 1978: 水稻营养的化学诊断方法。化学通报, 第 1 期, 21—25 页。
- [4] 黄荣级等, 1982: 冠醚类化合物在化学分析中的应用。分析化学, 第 10 卷 7 期, 423—425 页。
- [5] 同[2], 第 367 页。
- [6] Sumner, M. E., 1977: Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat., *Commun. Soil Sci. & pl. Anal.*, 8: 149—167.
- [7] Sumner, M. E., 1977: Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Commun. Soil Sci. & pl. Anal.*, 8: 251—268.