

水稻氮素营养的叶色诊断研究^{*}

陶勤南 方萍 吴良欢 周维帮

(浙江农业大学)

摘 要

本文根据均匀颜色空间的 $L^*a^*b^*$ 空间及色差公式研制了水稻标准叶色卡;研究了水稻氮素营养的叶色诊断。结果表明,水稻叶色与叶片全氮、蛋白氮、非蛋白氮含量,叶绿素、类胡萝卜素含量及光合强度等生理性状都有极显著的相关性,不同生育期的叶色级与产量有密切关系。田间对比试验结果也表明,根据叶色诊断施肥比农民习惯施肥有显著的节氮增产效果,可以作为优化配方施肥的配套技术之一。

一、水稻氮素营养叶色诊断技术的发展

我国农民素有看作物叶色施追肥的传统经验,早在三百多年前的《沈氏农书》就有关于对水稻进行叶色诊断追施孕穗肥的记载。本世纪50年代,全国劳模陈永康总结了水稻群体叶色的“三黑三黄”变化,以控制晚稻生长发育达到高产稳产的经验,提出了“肥田黄透再施,瘦田见黄即施,一般田不黄不施”的水稻追肥原则。由于当时缺乏定量叶色深浅的客观标准,这些宝贵经验未能普遍推广。60年代初,崔继林、王洪春等用比色卡目力比色测定水稻叶色级,对单季晚稻黄黑变化的生理基础作了一系列研究^[1,2],但未对比色卡的色度学原理及是否掌握色复现技术作出说明。70年代,日本农林省农业技术研究所、财团法人日本色彩研究所、富士胶卷株式会社等单位采用孟塞尔新标系统研制出纸质水稻叶色票和水稻标准叶色票^[3,4],并掌握了高超的色复现技术,为叶色深浅的定量建立了统一标准。

然而,孟塞尔新标系统是从心理学角度,根据颜色的视知觉规律制定的颜色分类和标定系统,其相邻颜色样品间的色差比视觉阈限的色差大得多,据此研制成的水稻标准叶色票的比色精度因而较低,从而影响了叶色诊断的精度。1976年,CIE(国际照明委员会)推荐的 L^* 、 a^* 、 b^* 均匀颜色空间及色差公式^[5]是目前国际公认的最精确的颜色空间。作者在有关单位的协助下采用 L^* 、 a^* 、 b^* 色空间和标准照明体 D_{65} 研究制成了塑料水稻标准叶色卡(简称塑料卡)和涤纶水稻标准叶色卡,并掌握了塑料卡的色复现技术。塑料卡有10个标准色级其颜色由浅向深渐变,其中第5级至第7级间分别插有5.5级和6.5级,以便提高叶色诊断常用区域的比色精度。这10个标准色级的色度学参数列于表1。

我们利用这些叶色卡作为定量水稻叶色级的标准,在田间试验和盆栽试验中对水稻氮素营养的叶色诊断原理和方法作了系统研究。

^{*} 湖南、安徽、黑龙江省土肥站(处)及全国100多个县土肥站参加田间试验工作,谨表谢意。

表 1

塑料水稻标准叶色卡的色度学参数

标准色级	明度指数 L*	色度指数 a*	色度指数 b*	半级间色差 ΔE (NBS)	一级间色差 ΔE (NBS)
1	53.71	-18.64	19.25		—
2	49.73	-19.48	16.41		4.96
3	46.39	-17.47	15.05		4.13
4	43.19	-18.67	12.70		4.15
5	40.04	-15.36	9.02		5.87
5.5	38.22	-15.17	8.50	1.90	—
6	36.37	-14.15	7.75	2.10	3.98
6.5	34.87	-12.71	5.98	2.94	—
7	33.60	-11.27	4.46	2.45	5.38
8	30.50	-8.57	1.75	—	4.92

二、水稻氮素营养叶色诊断的植物营养原理

(一) 叶色与叶片含氮量的关系

田间试验和盆栽试验结果一致表明, 水稻各生育期的叶色与叶片全氮和蛋白氮含量呈极显著的正相关(表 2)。叶色级与全氮的线性回归方程的斜率都相当接近在 0.33—0.41%, 即叶色每加深一级, 叶片含氮量即提高 0.33—0.41%(表 3)。此外, 在生育中、后期, 叶色级与叶片中非蛋白态的低分子氮含量也有很高的相关性。这充分说明, 叶色是水稻体内氮素营养状况的外在表现, 用叶色卡判定的水稻叶色级可以作为氮素营养水平高低的指标。

表 2

稻叶色级与叶片含氮量的相关系数

氮形态	田间试验(富阳, 1986年)		盆栽试验(浙江农大, 1988年)		
	分蘖盛期	幼穗分化期	分蘖盛期	幼穗分化期	灌浆期
全氮	0.662**	0.799**	0.752**	0.815**	0.901**
蛋白氮	0.629**	0.791**	0.771**	0.835**	0.907**
非蛋白氮	0.34	0.699*	0.153	0.162	0.940**

(二) 叶色与光合强度的关系

在分蘖盛期(y_t)、幼穗分化期(y_f)、抽穗期(y_h)和灌浆期(y_m)测得的叶片光合强度及叶色级(x)之间存在如下极显著的幂回归关系:

$$y_t = 8.57 \times 10^{-3} x^{2.41}$$

$$R_t = 0.855^{**};$$

$$y_f = 7.06 \times 10^{-4} x^{3.66} \quad R_f = 0.847^{**}; \quad y_h = 3.43 \times 10^{-3} x^{2.81}$$

$$R_h = 0.989^{**} \quad y_m = 0.0277 x^{1.14} \quad R_m = 0.899^*.$$

如果对 x 和 y 分别求对数, 则 $\ln y$ 与 $\ln x$ 的线性回归方程的斜率 $b_t(2.41)$ 、 $b_f(3.65)$ 、 $b_h(2.81)$ 较接近, 而 $b_m(1.14)$ 比前 3 者低得多, 说明在灌浆期叶色对光合强度的影响程度不及前 3 个生育期强烈。

光合色素含量的高低是影响光合强度的重要原因之一, 而叶色跟光合色素叶绿素、类胡萝卜素含量之间有密切关系。在土培试验中测得水稻这两种色素(y_1 、 y_2)含量与叶色级

表 3 水稻不同生育期叶色级(x)与叶片全氮含量(y)的线性回归方程

生育期	线性方程	相关系数
分蘖盛期	$\hat{y} = 1.480 + 0.382x$	0.752**
抽穗期	$\hat{y} = 0.633 + 0.414x$	0.953**
灌浆期	$\hat{y} = -0.062 + 0.330x$	0.901**

(x)可用如下两个回归方程来拟合:

$$\hat{y}_1 = 3.2 - 1.987 \times 10^3 x^{1.6} + 3.295 \times 10^{-3} x^{3.6} \quad R_1 = 0.890^{**};$$

$$\hat{y}_2 = [1 \div (2.099 - 3.280 \times 10^{-4} x^4)]^{2/3} \quad R_2 = 0.626^{**}$$

此外,水稻叶片气孔导度大小关系到 CO₂ 进入气孔的速度和影响光合强度。而叶色级与气孔导度有如下关系:分蘖盛期: $\hat{y}_t = -42.57 + 8.392x \quad r_t = 0.910^{**}$;

幼穗分化期: $\hat{y}_f = -16.86 + 3.374x \quad r_f = 0.854^{**}$

灌浆期: $\hat{y}_m = 0.5639 + 0.0439x \quad r_m = 0.750^{**}$ 。

从这3个线性回归方程斜率可以看出,灌浆期斜率比分蘖盛期小191倍;比幼穗分化期小76倍。

(三)叶色过深对营养生理的不良影响

众所周知,叶色过深将使无效分蘖猛增,从而造成生育前期消耗的营养和光合产物的无谓浪费。我们注意到盆栽试验中水稻从插秧到分蘖始期(y₁),从分蘖始期到盛期(y₂),从分蘖盛期到分蘖末期(y₃),每盆中新增分蘖与叶色级均有极显著的线性回归关系:

$$\hat{y} = -4.779 + 2.632x \quad r_1 = 0.816^{**} \quad \hat{y}_2 = -2.195 + 2.959x$$

$$r_2 = 0.885^{**} \quad \hat{y}_3 = -14.93 + 5.381x \quad r_3 = 0.946^{**}。$$

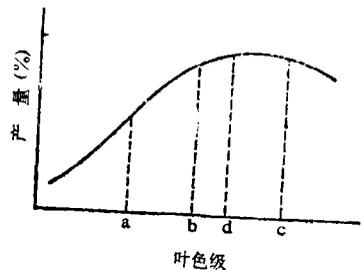
上列回归方程说明,水稻叶色过深,将会形成庞大的群体,且不能成穗的无效分蘖也愈多。叶色(x)与无效分蘖(y)的相关系数为0.743,线性回归方程 $\hat{y} = -12.88 + 3.34x$;叶色过深,还有利于低分子态氮积累,为病菌繁殖和虫害提供良好的营养条件。大田调查发现,晚稻3种病害的病情指数与叶色级的相关系数是:纹枯病为0.823^{**};叶瘟病为0.821^{**};稻瘟病为0.895^{**}。

总之,水稻一生应维持适宜的叶色。叶色过浅,表明氮素营养不足,光合强度低,不可能形成足够大的群体并积累足够的光合产物而取得高产;反之,叶色过深,表明氮素营养过剩,形成庞大的群体而产生大量无效分蘖,并且易感染病害也不可能高产。

三、叶色诊断指标

(一)叶色诊断指标——标准叶色级的确定原则

1985年至1989年在浙江、湖南、安徽、黑龙江、江苏、江西、四川、云南、贵州、广东、广西、陕西、湖北、宁夏、新疆等15个省(区)按统一方案进行田间试验,共取得150个试点的叶色和产量资料。结果经APPLEⅡ微机处理,得叶色与产量的关系的典型模式图(图1)。当叶色由浅转深至a点产量很快上升,处于叶色对产量效应的递增阶段;从a到b阶段产量上升速度下降,曲线向下凹转入产量效应的递减阶段;从b到c叶色继续增加但产量趋于稳定;当叶色超过c产量反而下降。这一模式类似于施肥量——产量模式。显然,b点反映出水稻氮素营养较为合理的叶色级,但由于判读叶色时所用的标准叶色卡常用区域的级差为0.5级,介于两个相邻标准叶色级之间的叶色级仅能估计,判读精度为0.2—0.3。为防止叶色诊断指标落入a—b范围内,我们将标准叶色级定在 $b + 0.3 = d$ 处。



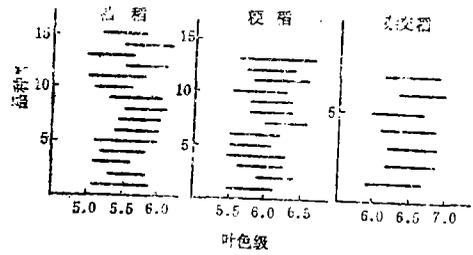
(二)不同类型品种生育期的水稻标准叶色级

按上述原则,我们对试点水稻在分蘖盛期和幼穗分化

图1 水稻叶色与产量关系的模式

期确定的叶色级 b—c 范围, 尽管对 不同品种的水稻其上、下限有所参差, 但同时也存在一个重叠区域(图 2)。例如籼稻的重叠区在 5.5 级左右; 粳稻在 6.0 级附近; 杂交稻在 6.5 级上下。因此, 我们决定将 5.5 级、6.0 级、6.5 级分别定为籼稻、粳稻、杂交稻的总体标准叶色级。从图 2 可以看出, 各种供试品种的标准叶色级都在该水稻类型的总体标准叶色级附近波动。

此外, 由于双季稻的分蘖盛期和幼穗分化期在时间衔接上较紧凑, 因此这两期的标准叶色级基本上是一致的。



* 15 个籼稻品种依次为: 305、浙辐 802、广陆矮 4 号、二九丰、湘早 3 号、科技、植若 5 号、秈桂 33、秋桂 11、早莲 31、矮庆 32、加选 22、8261—41、益早 3 号、602—4—7; 13 个粳稻品种依次为: 苏协梗、83— π_2 —489、常优 23、青林 9 号、晚梗 82—1、82—04、C—19、东农 415、湖北 105、910、余红 1 号、常优 48、秀水 48; 7 个杂交稻品种依次为: 汕优 63、威优 64、威优 35、协优 53、威优 6 号、威优 48—2、汕优 30 选。

图 2 各水稻品种分蘖盛期的叶色级 b—c 范围

四、水稻氮素营养的叶色诊断方法和效果

近年来, 在全国推广的配方施肥技术对解决水稻产前定肥问题起了较好的作用。如果我们再根据水稻生长过程中的营养状况对产前定肥量作适当调整, 则施肥将会更趋合理。叶色诊断就是对水稻氮素营养产中诊断的简单易行的方法。当田间水稻的叶色级超出标准叶色级, 说明氮素过剩, 应采取搁田烤田等措施加以控制; 如果叶色正好处在标准叶色级水平, 则表明氮素营养适宜, 不必追施氮肥; 若叶色级低于标准叶色级, 则表示水稻氮素营养不足, 应酌情追施一定量的氮肥。通常, 叶色级每低 0.1 级, 可追施 0.25—0.5 公斤尿素。在水稻生长前期可采上限; 后期应取下限。

叶色诊断施肥与农民习惯施肥相比, 叶色诊断施肥有显著的节氮增产效果, 据 1986 年对 33 户种植早、晚稻农家提供的资料统计, 叶色诊断施肥比农民习惯施肥增产稻谷 48 公斤/亩, 节省氮肥(纯 N) 3.2 公斤/亩, 增收 24.3 元/亩。在配方施肥基础上结合叶色诊断的 3 个处理 4 个重复的小区试验结果表明(表 4), 叶色诊断亩产比配方施肥高 17 公斤/亩, 但属机误的概率大于 5%, 故差异不显著, 但配方施肥产前定的计划施肥量(纯 N) 8 公斤/亩, 经叶色诊断, 施肥量降至 6.3 公斤/亩, 每亩节省 1.7 公斤纯氮。由此可见, 配方施肥产前定肥量应在产中适当调节。叶色诊断可作为优化配方施肥的具体配套措施。

表 4 配方施肥结合叶色诊断小区试验结果

处理* (纯氮: 公斤/亩)	叶 色 级		亩 产(公斤/亩)				平均
	分蘖盛期	幼穗分化期	I	II	III	IV	
不施氮(0)	5.2	5.1	321.6	389.6	329.6	389.5	357.6
配方施肥(8)	6.5	6.0	416.6	433.8	425.4	426.3	425.5
叶色诊断(6)	6.0	5.4	442.4	442.4	450.6	443.4	442.5

* 各处理均施基肥: 猪厩肥 18 担/亩; 过磷酸钙 10 公斤/亩; 氯化钾 7.5 公斤/亩。

参 考 文 献

[1] 崔继林, 易琼华: 单季晚稻群体叶色“黑黄”变化的生理特点及其在高产形成中的作用, 陈永康水稻高产经验 (下转第 197 页)

出土壤已矿化的氮素，而且还能析滤出在短期内易矿化的氮素。Rex 等人^[7]认为，EUF 析滤的氮量与作物吸收的氮素及作物产量均有密切的关系。但是，不少研究者对 EUF 法析滤效果一直存在着争议和质疑^[8]。为了对 EUF 析滤氮进行全面评价，我们进行了较为严格的试验。试验所用的电超滤仪为西德制造的 Vogel EUF 724 型。

根据杨陵地区12种土壤的 EUF N 的结果计算，作物吸收的总氮量与 EUF 氮量之间的相关系数为 0.663，达到 5% 的显著水准(当 $n = 12$ ， $r_{0.05} = 0.576$)。其中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与其相关系数为 0.745； $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 -0.190。表明 EUF N 与作物吸氮量之间的良好相关性主要是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ，尤其是测定前期析滤出的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的贡献。

参 考 文 献

- [1] Li Shengxiu, Current Progress in Soil Research in people's Republic of China, Jiangsu Science and Technology Publishing House. pp. 225-235, 1986.
- [2] Dressler, A., and K. Mengel, Kongressband, 1985.
- [3] Keerthisinghe, G., De Datta, S. K., and K. Mengel., Soil Science. 140(3): 194-201, 1985.
- [4] Nemeth, K., Makhdam, I. Q., Koch, K., and H. Beringer, Plant and Soil. 53: 445-453, 1979.
- [5] Kutsha-Lissberg, P., and F. Prillinger, Plant and Soil. 64: 63-66, 1982.
- [6] Nemeth, K., and L. Wiklicky, Zuckerindustrie, 107: 958-926, 1982.
- [7] Rex, M., Nemeth, K., and T. Harrach, Plant and Soil. 83: 117-125, 1985.
- [8] Houba, V. J. G., Novozamsky, I. et al., Plant and Soil. 96: 433-437, 1986.

(上接第 193 页)

- 研究(第 1 集), 30—42 页, 上海科技出版社, 1964。
- [2] 王洪春, 单季晚稻高产中叶色黑黄变化的生理基础探讨, 陈永康水稻高产经验研究(第 1 集), 43—55 页, 上海科技出版社, 1964。
 - [3] 日本农林省农业技术研究所、财团法人日本色彩研究所, 荣养诊断用水稻叶色票。
 - [4] 日本富士胶卷株式会社, 水稻标准叶色票。
 - [5] 荆其诚、焦书兰、喻柏林、胡维生编著, 色度学, 科学出版社, 1983。