

基于 SPAD 值的烤烟氮素营养诊断研究

边立丽¹, 艾 栋¹, 陈玉蓝², 常乃杰⁴, 黎昌明², 龙 潭², 冯文强³,
陈 曦¹, 张云贵¹, 刘青丽¹, 蒋寿安¹, 李志宏^{1*}

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 四川省烟草公司凉山州公司, 四川 西昌 615000; 3. 中国烟草总公司四川省公司, 四川 成都 610041;
4. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 为探究 SPAD 值在烤烟氮素养分诊断中的作用, 以云烟 100 为试材, 设置了 6 个不同氮肥水平的田间试验, 分析了烤烟叶片 SPAD 值与氮素营养诊断指标、施氮量的关系以及施氮量对产量的影响。结果得出产量与施氮量呈二次函数关系, 函数关系式为 $Y = -0.07X^2 + 18.07X + 2165.34$, 根据产量与施氮量的关系确定了最佳经济施氮量, 为 124.5 kg/hm^2 , 对应的最佳经济产量为 3330.4 kg/hm^2 ; 建立了基于叶片 SPAD 值的烤烟氮肥推荐施肥标准。其中最适 SPAD 值范围为 37.11 ~ 46.06, 可作为团棵期和旺长期氮素营养诊断的指标, 并能推荐氮肥的施用。

关键词: 烤烟; SPAD 值; 氮素; 营养诊断; 推荐标准

氮素是作物生长的必需元素。在作物生长必需的 17 种营养元素中, 对氮素需求量较大, 然而在农业实践中过量的氮肥施用导致的氮流失造成诸多环境问题 (富营养化、土壤酸化、温室气体排放、酸雨、地下水污染等), 给人类生存带来严峻的挑战^[1]。因此, 确定合理的施氮量是农业可持续发展的必由之路^[2-3]。烟草具有重要的经济价值, 合理制定烟草的氮肥施用策略、准确诊断烟草生长期间的营养状态并调控氮素营养, 既有利于优质烟叶生产, 又有助于农业可持续和环境友好型发展^[4-5]。目前, 我国烟叶生产中普遍推荐的氮肥用量与烟株生长过程中的氮素需求规律匹配性差, 同时缺乏高效的氮素监测手段, 导致施氮量偏高, 氮肥利用率低^[6-8]。

传统的氮素营养诊断通常需要对植株进行破坏性取样, 分析测试过程繁琐且结果滞后^[9]。随着科技的发展, 基于光谱特征的营养诊断因其便捷、快速、高效等特点, 在作物氮素营养诊断中具有较为广泛的应用前景^[10]。在现代作物营养监测

手段中, 采用叶绿素仪来进行氮素监测最为普遍, 常用的叶绿素仪如 SPAD-502 (Soil plant analysis development) 手持叶绿素仪, 使用双波长 (红光波长 650 nm 和近红外波长 940 nm) LED 光源, 通过计算这 2 种波长的密度比值, 并对比有无待测样品时光密度的差异来计算得到 SPAD 值, 因为 SPAD 值和供测样品中叶绿素含量成正相关, 可进一步推测植株的氮素营养状况^[11]。由于叶绿素仪具有快速、简便、无损等检测特点, 其在作物养分快速监测领域的运用已经取得了较好的结果。李刚华等^[12]利用便携 SPAD 仪对水稻进行了氮素营养监测, 通过比叶重或建立不同品种的 SPAD 值与氮素营养函数关系能够提高利用 SPAD 仪诊断特定品种氮素水平的精度; 蒋阿宁等^[13]利用叶绿素计测定冬小麦拔节期倒一叶和倒二叶的 SPAD 值代替实验室土壤养分测定来制定施肥策略, 结果表明, 基于 SPAD 的变量施肥能满足冬小麦生长阶段对氮素的需要。李志宏等^[14]应用叶绿素仪监测夏玉米氮素营养状况, 结果表明, 基于 SPAD 对玉米生长阶段养分的预测精度达到 66.7%。屈卫群等^[15]通过研究棉花主茎叶 SPAD 值的叶位分布, 对棉花进行氮素营养诊断, 结果表明, 利用顶 1 定型叶与顶 4 定型叶 SPAD 值的相对差值, 可较精确地诊断棉花的氮素营养水平。利用 SPAD 对烟草的养分监测方面, 也有一些学者做过相关研究, 比如在叶绿

收稿日期: 2021-02-02; 录用日期: 2021-02-27

基金项目: 基于大数据的烤烟营养监测和调控关键技术与应用 (SCYC202005); 四川典型植烟土壤碳平衡研究与应用 (SCYC201702)。

作者简介: 边立丽 (1995-), 硕士研究生, 研究方向为农田土壤养分。E-mail: bianlili@caas.cn。

通讯作者: 李志宏, E-mail: lizhihong01@caas.cn。

素、叶片全氮含量定量监测中均具有较好的运用成果^[16]，但前人研究主要集中在对烟草特定生育期的 SPAD 值建立诊断标准，而烟草追肥时间往往超过试验研究的特定生育期，因此，无法对合理产量的适宜施氮量进行计算。不同烟草生育期 SPAD 值存在差异，建立烟草追肥阶段的 SPAD 诊断指标，才能真正做到依据 SPAD 值进行烟草营养诊断，从而优化烟草追肥策略。先前的相关报道中，也没有将肥料和烟叶的收支成本纳入考虑，导致研究结果在生产实践中难以运用。

针对上述问题，本研究以烤烟为研究对象，通过设置氮肥梯度田间试验，定期测试叶片 SPAD 值与植株的氮素含量，试图构建营养正常的烤烟在

移栽后每天的 SPAD 适宜值范围以及弱苗、旺苗 SPAD 值诊断标准，为烤烟生产的追肥推荐提供判别依据，助力烟草农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年在四川省冕宁县回坪乡横路村 (28°31'9.2" N, 102°08'12.7" E) 进行，海拔高度 1842 m。地处四川省西南部凉山州东北部，气候温和、雨热同季、雨量充沛、日照充足，属于亚热带季风气候。试验区内年平均气温 14.1℃，年均日照时数 1957.2 h，年均降水量为 1106.8 mm^[17]。供试土壤为典型红壤冲积的泥沙土，主要化学指标见表 1。

表 1 土壤化学性状

有机质 (g/kg)	pH	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
32.37	5.38	3.001	0.878	131.94	153.9

1.2 试验设计

试验设置 N0 (0 kg/hm²)、N1 (37.5 kg/hm²)、N2 (75 kg/hm²)、N3 (112.5 kg/hm²)、N4 (150 kg/hm²)、N5 (187.5 kg/hm²) 6 个氮肥处理水平，采用完全随机区组试验设计，每个处理 3 次重复，共 18 个小区，小区面积为 36 m²，小区之间过道为 0.45 m，四周设保护行。供试烤烟品种为当地主栽品种“云烟 100”。4 月 26 日施用基肥并人工移栽，株距为 0.55 m，行距为 1.2 m，移栽后 25 和 35 d 追肥，基追比为 81:19，供试肥料有烟草专用肥 (10-15-20)、硝铵磷 (32-4-0)、磷酸一铵 (12-60-0)、硫酸钾 (0-0-50)、硝酸钾 (13.5-0-44.5)、普钙 (0-14-0)，各小区养分投入详见表 2。其它管理措施按当地优质烤烟生产技术规范要求进行。

表 2 各试验处理的养分投入量 (kg/hm²)

处理	总养分		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N0	0	90	315
N1	37.5	90	315
N2	75	90	315
N3	112.5	90	315
N4	150	90	315
N5	187.5	90	315

1.3 样品采集与测试

烤烟生长期叶片共采样 9 次，分别在移栽后 10、20、30、40、50、60、80、100、120 d，叶片采样后将其洗净烘干并磨碎保留样品，采用凯氏定氮法测定烤烟叶片全氮含量；SPAD 值采用 SPAD-502 叶绿素仪测定，根据查苗情况，每个处理选择代表性烟株 10 株，测定时间为移栽后的 10、20、30、40、50、60、70、80、90 d，测定的部位分别为叶尖、叶中、叶基，并分别记录 SPAD 读数，取均值作为相应叶片的 SPAD 值，测定时需避开叶脉和叶片边缘，为保证数据的可比性，测定条件尽可能一致，选择晴朗无风或者风力不大的天气；田间试验烟叶按小区挂牌采烤、分级称重，并计算各小区产量。

1.4 边际产量计算公式

边际产量是指每增加 1 单位可变资源所引起的总产量增加 (或减少) 额。当边际产量等于施氮量与烤烟的价格比时，边际利润等于 0，单位面积的施肥利润最大，此时的施氮量为最大利润 (经济最佳) 的施氮量。本试验中涉及的氮肥价格为 $P_x=4.77$ 元/kg，假设每个小区的烤烟价格与当地平均价格水平一样，为 $P_y=27.97$ 元/kg。

1.5 数据分析与作图

采用 Sigma Plot 14.0 绘图，用 SPSS 20.0 和 Excel 2010 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 烤烟叶片氮含量和 SPAD 值

烤烟的叶片 SPAD 值和氮含量相关关系见表 3, 从移栽到移栽后 60 d, 烤烟叶片 SPAD 值波动范围为 39.5 ~ 52.3, 其均值的最大值和最小值分别出现在移栽后 20 d (52.3) 和移栽后 30 d (39.5)。表 3 中分别体现了烤烟叶片叶尖、叶中、叶基以及三者均值的回归模型以及相关系数, 若取 3 点的平

均值作为烟株的 SPAD 代表值, 其各个时期的相关系数分别为 0.64、0.49、0.52、0.73、0.77、0.62, 远大于各个部位 SPAD 与氮含量的相关系数, 所以取 3 个部位的平均值作为烤烟叶片 SPAD 更具代表性。从变异系数中可以看出, 各个部位的变异系数均大于其 3 点平均值的变异系数, 说明取平均值后数据更具稳定性, 更进一步说明了取 3 个部位平均值作为烟株 SPAD 值更具代表性和普适性。

表 3 烤烟叶片 SPAD 及与对应时期氮含量的相关关系

时期 (d)	部位	均值 $\pm$ 标准差	变异系数	模型	相关系数
10	叶尖	42.9 $\pm$ 3.0	0.13	$y=2.82x+34.41$	0.49 [*]
	叶中	43.0 $\pm$ 2.3	0.10	$y=2.52x+35.40$	0.58 ^{**}
	叶基	42.4 $\pm$ 2.3	0.11	$y=2.34x+35.38$	0.53 [*]
	三点平均值	42.7 $\pm$ 4.3	0.10	$y=0.02x+40.57$	0.64 ^{**}
20	叶尖	52.3 $\pm$ 3.4	0.12	$y=3.62x+39.17$	0.21
	叶中	51.2 $\pm$ 4.4	0.13	$y=1.82x+44.59$	0.12
	叶基	49.2 $\pm$ 5.2	0.15	$y=1.60x+43.40$	0.09
	三点平均值	50.9 $\pm$ 6.0	0.12	$y=0.03x+48.09$	0.49 [*]
30	叶尖	46.1 $\pm$ 2.9	0.11	$y=0.22x+45.17$	0.03
	叶中	42.0 $\pm$ 3.2	0.12	$y=-0.93x+45.78$	0.10
	叶基	39.5 $\pm$ 2.9	0.13	$y=-0.85x+43.02$	0.10
	三点平均值	42.5 $\pm$ 4.5	0.11	$y=0.02x+40.37$	0.52 [*]
39	叶尖	48.8 $\pm$ 2.0	0.08	$y=2.55x+39.91$	0.41
	叶中	44.9 $\pm$ 2.1	0.11	$y=3.51x+32.65$	0.53 [*]
	叶基	41.5 $\pm$ 3.2	0.13	$y=6.46x+18.93$	0.65 ^{**}
	三点平均值	45.1 $\pm$ 3.6	0.08	$y=0.02x+42.86$	0.73 ^{**}
50	叶尖	49.1 $\pm$ 2.2	0.08	$y=-0.49x+50.67$	0.09
	叶中	46.9 $\pm$ 2.4	0.08	$y=-0.41x+48.18$	0.07
	叶基	42.1 $\pm$ 2.5	0.10	$y=0.31x+41.05$	0.05
	三点平均值	46.0 $\pm$ 3.3	0.07	$y=0.03x+43.60$	0.77 ^{**}
60	叶尖	50.5 $\pm$ 2.6	0.09	$y=6.07x+30.38$	0.65 ^{**}
	叶中	46.8 $\pm$ 2.0	0.09	$y=4.45x+32.10$	0.62 ^{**}
	叶基	40.9 $\pm$ 2.3	0.10	$y=4.39x+26.41$	0.53 [*]
	三点平均值	46.1 $\pm$ 3.3	0.07	$y=0.02x+44.13$	0.62 ^{**}

注: 表中 * 表示 0.05 水平下显著; ** 表示 0.01 水平下显著。

根据3点均值作为烟株SPAD代表值,做出了烤烟生育期不同氮肥水平的SPAD值,可以看出SPAD值在整个生育期呈先上升后下降的趋势。不同施氮水平间SPAD值的动态变化相似,烤烟叶片SPAD值随生育期呈先增加后降低的趋势,移栽后前10 d,SPAD值迅速增加,在20 d达到最大值,随后下降,这可能是因为前期烤烟主要进行营养生长,光合作用强烈,叶绿素含量高,因此叶片

SPAD值不断上升。在35 d追肥之后,烤烟SPAD值又缓慢上升,在第2次追肥之后SPAD值上升不明显,这可能是因为烤烟后期主要进行生殖生长,SPAD稍有下降。不同氮处理烤烟叶片的SPAD值在生育期变化趋势一致,各处理在前期(团棵期)差异较大,上升时高氮处理($N \geq 7.5$)上升速度较快,低氮处理($N \leq 7.5$)上升速度较慢,在20 d后下降时不同氮处理下降速度与前期上升速度一致。

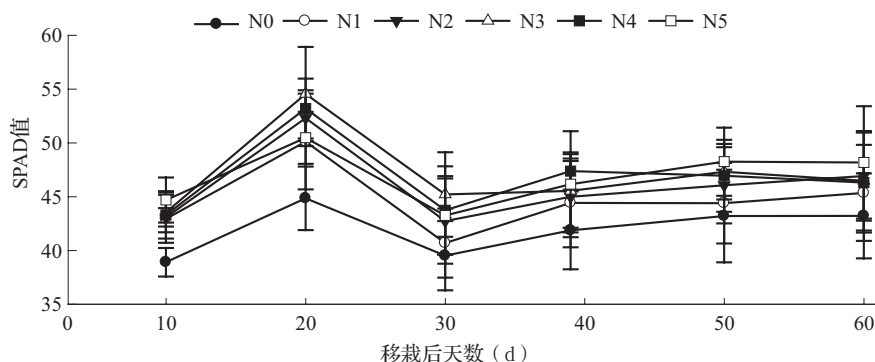


图1 不同氮水平SPAD值动态变化

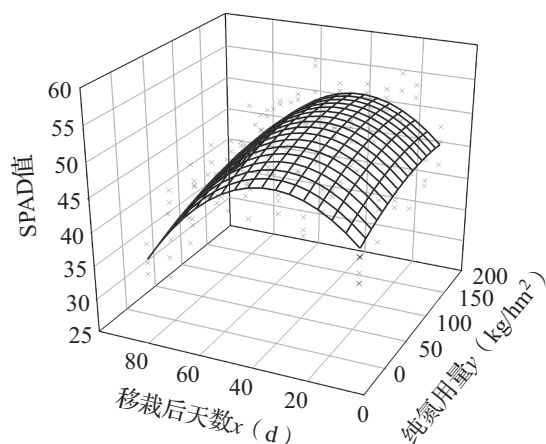
2.2 烤烟叶片SPAD值与施氮量、移栽后天数的关系

为了定量表述SPAD值与施氮量、移栽后天数的关系,对SPAD值与移栽后天数、施氮量进行了多元拟合,不同移栽天数下施氮量与SPAD关系拟合方程为 $SPAD = -0.0002x^2 - 0.0059y^2 + 0.0519x + 0.4914y + 37.3546$,方程决定系数为 $R^2 = 0.6306$ ($P < 0.01$),其中, x 为施氮量, y 为移栽后天数。三维表达图形如图2所示。烤烟叶片SPAD值与

氮肥用量、移栽后天数均呈二次方程关系,即随着氮肥用量增加,SPAD值表现为先增加后降低的关系;随着移栽后天数的增加,SPAD值也呈先增加后降低的关系。SPAD值随移栽后天数的变化与图1的直接表述存在偏差,原因在于直接表述时追肥的影响直接反映在图形上,而模拟结果则忽略了这种追肥可能对叶片SPAD值的影响,用于追肥指导时,往往在追肥前进行测试,所以模拟结果更有利于确定SPAD作为烤烟氮素营养诊断指标。

2.3 不同施氮量对烤烟产量的影响

由图3可知,在一定施氮量的范围内($0 \sim 200 \text{ kg/hm}^2$),烤烟的产量随着施氮量的增加而增加;当施氮量达到 112.5 kg/hm^2 后,产量增加不明显;当施氮量达到最大(200 kg/hm^2)时,产量有所下降。在大田不同氮肥处理条件下,烤烟产量在施氮量为 129.0 kg/hm^2 时最高,用一元二次方程对烤烟全生育期不同施氮量总的氮肥效应进行拟合,得出全生育期总施氮量(X)与烤烟产量(Y)的定量关系(图3)。对方程 $Y = -0.07X^2 + 18.07X + 2165.34$ 求偏导,得到最高产量为 3331.9 kg/hm^2 ,而其对应的施肥量为 129.0 kg/hm^2 ,因此,可以将 129.0 kg/hm^2 作为全生育期总施氮量,也可作为追肥总量的参考;最大利润施肥量为 124.5 kg/hm^2 ,最佳产量为 3330.4 kg/hm^2 。



$$SPAD = -0.0002x^2 - 0.0059y^2 + 0.0519x + 0.4914y + 37.3546$$

$$R^2 = 0.6306^{**}$$

图2 叶片SPAD值与施氮量、移栽后天数的回归关系

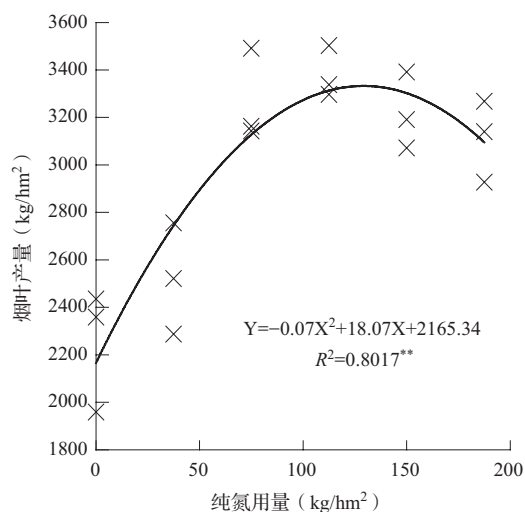


图3 烟叶产量与施氮量的回归关系

2.4 烤烟叶片 SPAD 值诊断氮肥推荐标准的建立

通过阈值模型设置 SPAD 临界值或阈值范围, 建立合理施肥标准, 实测 SPAD 值与该临界值或阈值范围进行比较, 低则追施氮肥, 接近则不施氮肥或少施氮肥, 高则不施氮肥, 这种采用阈值的模型是目前氮肥管理研究中应用最多的方法。依据施氮量与烤烟叶片 SPAD 值的二元二次方程关系以及施氮量与产量的拟合方程, 可以建立 SPAD 值诊断推荐施肥标准。

前文求出了 SPAD 与施氮量和移栽天数的关系方程, 将最佳经济施肥量 124.5 kg/hm^2 代入 $\text{SPAD} = -0.0002x^2 - 0.0059y^2 + 0.0519x + 0.4914y + 37.3546$ 中得出 SPAD 的最适值, 由此可根据该方程求出不同时期的最佳 SPAD 值, 将最大产量的施肥量代入得出 SPAD 的临界值, 由于最佳经济施肥量和最大产量相差很小, 所以 SPAD 的最适值和临界值也相差不大, 本文取 SPAD 的最适值作为 SPAD 诊断施肥标准 (表 4)。

表4 烤烟各生育时期 SPAD 最适值

移栽天数 (d)	SPAD 最适值
10	45.42
20	46.06
30	46.22
40	45.90
50	45.10
60	43.83
70	42.07
80	39.83
90	37.11

3 讨论

本文不同施氮量与烤烟产量的关系研究表明, 在一定施氮量范围内, 产量随着施氮量的增加而增加, 当施氮量增加到一定程度时, 产量有稍微下降的趋势。侯雪坤等^[18]设置不同氮素水平对烤烟产量的影响, 得出在氮肥处理中, 随用量增加烤烟生长旺盛, 而高氮处理则由于氮素用量过多, 造成烟株徒长, 发病率过高, 进而影响了烤烟生长, 这与本试验的研究结果一致。王维等^[6]在烤烟氮素营养诊断及精准施肥模式研究中有类似结论。但是, 不同研究之间得出的最佳施氮量差异明显, 本试验为 124.02 kg/hm^2 , 王维等^[6]和侯雪坤等^[18]研究的最佳施氮量分别是 163.11 和 52.5 kg/hm^2 , 造成这种差异的原因可能与当地土壤肥力和烤烟品种等因素有关。

本研究发现 SPAD 值与叶片氮含量具有良好的线性关系, 相关系数最高达 0.77 , 两者具有较高的协同性, 这与李佛琳等^[19]和徐照丽等^[20]研究结果一致。如何选择 SPAD 的适宜测定部位, 是决定研究准确性的基础。李佛琳等^[19]研究结果表明, 应用叶绿素监测烤烟叶片的最佳测定部位为完全展开叶的中部, 而徐照丽等^[20]认为叶绿素仪测定烤烟叶绿素的部位为叶基部。叶绿素读数测定值因年份、地点、施氮水平、叶位、同一叶片的不同部位而异, 但从本研究来看, 同一叶片的不同部位取平均值比单独的某个部位更具代表性, 能够更好地监测烤烟氮素水平。

采用 SPAD 阈值的方法虽然取得了一定的应用效果, 但不同品种, 不同地理环境下 SPAD 值与烤烟产量、含氮量等关系不同, 本文得到的生育期最适 SPAD 范围在 $37.11 \sim 46.06$ 之间, 王维等^[6]测定倒三叶 SPAD 得出了当 SPAD 阈值在 $40.5 \sim 43$ 范围时, 能够获得烤烟较高的产量和质量。贺帆等^[21]在对水稻适宜 SPAD 的研究中发现, 两优培九和汕优 63 品种水稻的 SPAD 阈值范围分别为 $38 \sim 39$ 和 $35 \sim 37$, 能获得较高的产量和部分的品质改善。贺广生等^[22]研究了 K326 品种烤烟的 SPAD, 发现 K326 的 SPAD 设定阈值为 $40.5 \sim 43$, 相应的氮肥用量以 $75 \sim 110 \text{ kg/hm}^2$ 为宜。因此, 可以看出, 不同作物和不同品种之间 SPAD 阈值都不尽相同, 从前文可知, 即便是同一作物同一品种, 当选择的监测叶位不同时, 也会导致适宜范围

上的差异。

本文通过设置氮肥梯度试验,分析了施氮量和烟叶产量之间的关系,并基于 SPAD 值与烟叶氮素养分之间的定量关系,确定了基于 SPAD 值的氮肥推荐施用量,这一结果对科学了解烤烟生长具有重要意义。然而,本文仍存在诸多限制,主要有以下几方面:(1)氮肥梯度设置合理性。本文设置了 6 个氮肥梯度,但能否准确捕捉到氮肥梯度对烟叶养分和产量的影响仍有很大不确定性;(2)气象因素干扰。烤烟的生长受到当季生育期气象因素的影响,仅讨论氮肥使用和烟叶氮素之间的关系,难以反映烤烟在生长阶段的限制因素;(3)试验年限。本文只探讨了一年的试验情况,随着施肥年限增加,氮肥对烟叶养分和产量的影响是否具有持续性仍有待研究;(4)新的技术方法对比。目前基于光谱图像数据的氮素监测也得到了广泛运用,本文没有对 SPAD 便携设备和光谱图像设备监测烤烟氮素之间的优劣进行比较,在未来的研究中可以考虑分析比较不同烟叶氮素速检方法在便捷性、精确性等方面的优劣。

4 结论

通过本研究得出主要结论如下:

(1)烤烟叶片的 SPAD 值与叶片氮含量有较好的相关关系,说明可以利用 SPAD 值作为氮素营养诊断的指标。

(2)烟叶产量与施氮量之间呈现二次函数关系式 $Y = -0.07X^2 + 18.07X + 2165.34$, 烟叶最佳经济产量为 3330.4 kg/hm^2 , 最佳施肥量为 124.5 kg/hm^2 。

(3)通过 SPAD 值与施氮量、烟叶产量之间的耦合关系可知,移栽各时期 SPAD 的最适范围在 37.11 ~ 46.06 之间。

参考文献:

- [1] Chang N, Zhai Z, Li H, et al. Impacts of nitrogen management and organic matter application on nitrous oxide emissions and soil organic carbon from spring maize fields in the North China Plain [J]. Soil and Tillage Research, 2020, 196: 104441.
- [2] Zhang X, Davidson E A, Mauzerall D L, et al. Managing nitrogen for sustainable development [J]. Nature, 2015, 528 (7580): 51-59.
- [3] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (4): 783-795.
- [4] 周方, 席奇亮, 张思琦, 等. 豫中烟区水肥一体化条件下烤烟临界氮浓度稀释曲线与氮素营养诊断研究 [J]. 中国烟草学报, 2019, 25 (1): 58-66.
- [5] 钟思荣, 龚丝雨, 陈仁霄, 等. 基于数字图像技术的烟草氮素营养诊断研究 [J]. 江西农业大学学报, 2017, 39 (6): 1104-1111.
- [6] 王维, 陈建军, 吕永华, 等. 烤烟氮素营养诊断及精准施肥模式研究 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (9): 77-84.
- [7] 邱标仁, 周冀衡, 郑开强, 等. 施氮量对烤烟产质量和烟碱含量的影响 [J]. 烟草科技, 2003 (11): 41-43.
- [8] 蔡晓布, 钱成. 氮肥形态和用量对藏东南地区烤烟产量和质量的影响 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 66-70.
- [9] 郭建华, 赵春江, 王秀, 等. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2008 (4): 10-14.
- [10] 贾良良, 陈新平, 张福锁. 叶绿素仪与植株硝酸盐浓度测试对冬小麦氮营养诊断准确性的比较研究 [J]. 华北农学报, 2007, 22 (6): 157-160.
- [11] 李志宏, 刘宏斌, 张云贵. 叶绿素仪在氮肥推荐中的应用研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (1): 125-132.
- [12] 李刚华, 丁艳锋, 薛利红, 等. 利用叶绿素计 (SPAD-502) 诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (3): 412-416.
- [13] 蒋阿宁, 黄文江, 刘克礼, 等. 利用叶绿素计进行冬小麦变量施肥及其效应研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (6): 1092-1097.
- [14] 李志宏, 张云贵, 刘宏斌, 等. 叶绿素仪在夏玉米氮营养诊断中的应用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (6): 58-62.
- [15] 屈卫群, 王绍华, 陈兵林, 等. 棉花主茎叶 SPAD 值与氮素营养诊断研究 [J]. 作物学报, 2007 (6): 1010-1017.
- [16] 李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (2): 331-337.
- [17] 冕宁县史志办公室. 冕宁年鉴 2018 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2018.
- [18] 侯雪坤, 程岩, 陈魁卿. 不同氮钾肥用量对黑龙江省烤烟产量质量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 1996 (4): 22-25.
- [19] 李佛琳, 赵春江, 王纪华, 等. 应用叶绿素计诊断烤烟氮素营养状况 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (1): 136-142.
- [20] 徐照丽, 李天福. SPAD-502 叶绿素仪在烤烟生产中的应用研究 [J]. 贵州农业科学, 2006, 34 (4): 23-24.
- [21] 贺帆, 黄见良, 崔克辉, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (1): 123-132.
- [22] 贺广生, 文俊, 叶为民, 等. 基于 SPAD 值的田间氮肥管理模式对烤烟产质量及氮肥利用率的影响 [J]. 烟草科技, 2010 (3): 51-55.

Study on nitrogen nutrition diagnosis of flue-cured tobacco based on SPAD value

BIAN Li-li¹, AI-Dong¹, CHEN Yu-lan², CHANG Nai-jie⁴, LI Chang-ming², LONG-Tan², FENG Wen-qiang³, CHEN Xi¹, ZHANG Yun-gui¹, LIU Qing-li¹, JIANG Shou-an¹, LI Zhi-hong^{1*} (1. Institute of Agricultural Resources and Agricultural Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Liangshan Prefecture Branch of Sichuan Tobacco Company, Xichang Sichuan 615000; 3. Sichuan Branch of China National Tobacco Corporation, Chengdu Sichuan 610041; 4. Zhengzhou Tobacco Research Institute, China National Tobacco Corporation, Zhengzhou Henan 450001)

Abstract: In order to explore the role of SPAD value in the diagnosis of nitrogen nutrients in flue-cured tobacco, using Yunyan 100 as the test material, 6 field trials were set up with different nitrogen fertilizer levels, the relationship between SPAD value of flue-cured tobacco leaves, nitrogen nutrition diagnostic indicators, and nitrogen application rate were analyzed and the effect of nitrogen application rate on yield was investigated. The results showed that the yield and nitrogen application rate were related by quadratic function, which was $Y = -0.07X^2 + 18.07X + 2165.34$. According to the relationship between yield and nitrogen application rate, the optimal economic fertilization rate was determined to be 124.5 kg/hm², and the corresponding optimal economic yield was 3330.4 kg/hm². The recommended fertilization standard for flue-cured tobacco based on the leaf SPAD value was established. Among them, the most suitable SPAD range was 37.11 ~ 46.06, which can be used as an index for the diagnosis of nitrogen nutrition in the resettling group tree stage and prosperous stage, and the application of nitrogen fertilizer can be recommended.

Key words: flue-cured tobacco; SPAD value; nitrogen; nutritional diagnosis; recommended standards