

基于叶片 SPAD 值的滴灌春小麦 氮肥分期施用推荐模型

史力超, 翟 勇, 王雪艳, 侯振安, 冶 军

(石河子大学农学院农业资源与环境系, 新疆 石河子 832003)

摘要: 试验于 2014—2015 年进行, 利用 2014 年田间试验建立基于叶片 SPAD 值的滴灌春小麦氮肥分期施用推荐模型, 2015 年进行推荐模型的验证实验。结果表明: 在滴灌春小麦拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期, 随着氮肥施用量的增加, 小麦叶片 SPAD 值均呈线性增加的趋势; 各生育期叶片 SPAD 值与产量具有显著的相关性; 全生育期最佳施氮量为 $261 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 滴灌春小麦拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期叶片 SPAD 临界值分别为 42.4、39.4、41.8、54.1; 建立了基于叶片 SPAD 值的滴灌春小麦氮肥分期施用推荐模型, 在保证产量的前提下, 基于模型推荐施肥可以节约肥料 7.86%, 提高氮肥利用率 9.64%。研究得出, 小麦叶片 SPAD 值可以指导滴灌春小麦氮肥分期施用。

关键词: 春小麦; 滴灌; SPAD 值; 氮肥推荐模型

中图分类号: S512.1+2; S147.2; S311 文献标志码: A

Recommendation model of nitrogen fertilizer based on SPAD of leaves for drip-irrigated spring wheat

SHI Li-chao, ZHAI Yong, WANG Xue-yan, HOU Zhen-an, YE Jun

(Department of Resources and Environmental Sciences, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: To explore a nitrogen fertilizer recommendation using SPAD-502 for drip-irrigated spring wheat, an experiment had been carried out between 2014 and 2015. Field test data in 2014 was applied to establish a nitrogen fertilizer recommendation model based on SPAD of leaves for drip-irrigated spring wheat, which was compared with the field test in 2015. The results showed that the SPAD of wheat leaves presented a liner increasing trend with the increase of N fertilizer rate at jointing, booting, heading and filling stages. The corresponding thresholds of SPAD were 42.4, 39.4, 41.8, and 54.1, respectively, when the total application rate of nitrogen fertilizer was $261 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ during the whole growth period of spring wheat. As a result, a nitrogen fertilizer recommendation model based on the SPAD of leaves could be established in this experiment. Field experiment indicated that the nitrogen fertilizer recommendation model could make the fertilizer application rate down by 7.86% and the utilization ratio up by 9.64% when wheat yield is secured.

Keywords: spring wheat; drip irrigation; SPAD value; N fertilizer recommendation

小麦是世界主要的粮食作物之一, 增施氮肥是小麦增产最为重要的技术手段, 但过量施氮不利于滴灌春小麦产量形成^[1-2]。滴灌技术在新疆春小麦生产上的应用取得了良好的效果, 滴灌小麦面积也逐年扩大^[3-4]。滴灌技术的应用使春小麦施氮肥方式由漫灌下的一次性追肥发展到分期多次追肥^[5]。确定总量的推荐施肥已无法满足滴灌春小麦分期施肥需要^[6], 因此, 快速准确诊断出滴灌小麦氮素营养状况对氮肥合理施用具有重要意义。

SPAD-502 叶绿素仪能快速确定叶片叶绿素相对含量, 从而反应作物氮素营养状况, 其中小麦以旗叶最新完全展开叶的 SPAD 值与小麦的氮素营养状况相关性最好^[7-8]。冬小麦从返青到成熟期叶片 SPAD 值与施氮量、叶片全氮含量均呈显著线性相关^[9-10]。但是, 应用 SPAD-502 叶绿素仪对新疆滴灌小麦进行氮素营养诊断方面的研究较少。本研究通过分析不同施氮水平下滴灌春小麦各生育时期叶片 SPAD 值与施氮量、产量的关系, 确定各生育时期

收稿日期: 2016-01-20

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAD42B02)

作者简介: 史力超(1990—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士研究生, 主要从事植物营养诊断研究。E-mail: shidaslc@163.com。

通信作者: 冶 军, 副教授, 硕士生导师, 主要从事新型肥料研究。E-mail: yejun.shz@163.com。

叶片 SPAD 临界值,并建立氮肥分期追肥模型,以期
为滴灌春小麦精准施氮提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014—2015 年在新疆石河子市天业生态园(N44°19′44.5″,E86°03′38.0″)进行,前茬作物为油葵,土壤为灌耕灰漠土,0~30 cm 土层土壤有机质 16.6 g·kg⁻¹,碱解氮 68.5 mg·kg⁻¹,速效磷 16.3 mg·kg⁻¹,速效钾 189.1 mg·kg⁻¹,供试品种为新春 35 号。

1.2 试验设计

(1) 2014 年进行小麦氮肥试验,用于建立滴灌春小麦氮肥分时期推荐模型。设 6 个施氮水平,分别为施纯氮 0(N0)、75(N1)、150(N2)、225(N3)、300(N4)、375(N5) kg·hm⁻²,氮肥为尿素,每个处理基肥占总施肥量的 20%、拔节期 40%、孕穗期 20%、抽穗期 10%、灌浆期 10%,追肥在每次指标测定后第二天进行。总灌水量为 6 000 m³·hm⁻²,苗期灌水量占总灌水量的 15%、拔节期 25%、孕穗期 20%、扬花期和乳熟初期分别为 15%,乳熟末期 10%。滴灌带布置为一管四行的田间配置方式(即 4 行小麦 1 条滴灌带,行距为 15 cm,滴灌带幅宽为 60 cm)。每个处理重复三次,小区面积为 3×3=9 m²,小区之间各设 50 cm 保护行。磷(P₂O₅)、钾(K₂O)作为基肥一次性施入,施用量为 150 kg·hm⁻²。

(2) 2015 年在新疆石河子市天业生态园进行滴灌小麦氮肥分时期推荐模型田间验证试验。试验

设:不施氮肥(N0)、常规施肥(Nc,总施肥量为纯氮 225 kg·hm⁻²,在各生育时期按 2014 年试验比例施用)和推荐施肥(Nd,按追肥推荐模型施氮)3 个处理。栽培模式和 2014 年试验一致,每个处理重复三次,小区面积为 3×3=9 m²,小区之间各设 50 cm 保护行。磷(P₂O₅)、钾(K₂O)作为基肥一次性施入,施用量为 150 kg·hm⁻²。

1.3 样品采集及测定

采用 SPAD-502 叶绿素仪在拔节期、孕穗期、抽穗期、扬花期、灌浆期、乳熟期测定叶片 SPAD 值。测试时间为晴天 11:00—13:00,每个小区随机选取 30 株小麦,测定最上部完全展开叶的中部。成熟时每个小区随机取 1 m² 样方测产,计算单位面积的籽粒产量。

1.4 数据处理

试验数据使用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,应用 Microsoft Excel 2003 制图。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下滴灌春小麦叶片 SPAD 值的变化

叶片 SPAD 值变化总体呈“减小-增大-减小”的趋势,拔节期到孕穗期 SPAD 值略有下降,孕穗期到抽穗期相对稳定,抽穗期到灌浆期增长迅速,灌浆期以后,叶片 SPAD 值开始下降。整体来看 N0 和 N1 处理 SPAD 值明显处于较低水平,同一时期与高氮处理之间差异显著。

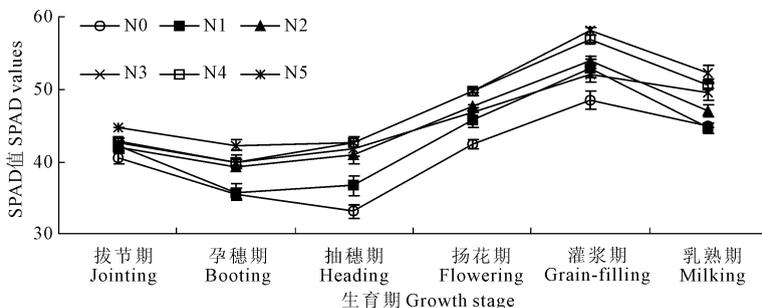


图 1 不同施氮水平下滴灌春小麦叶片 SPAD 值的变化

Fig.1 SPAD value of leaves at different growth stages for drip-irrigated spring wheat by different N treatments

2.2 不同生育时期滴灌春小麦叶片 SPAD 值与施氮量的关系

在拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期,随施氮量的增大,滴灌春小麦叶片 SPAD 值均呈线性增加(图 2)。其中以抽穗期和灌浆期的相关性更显著,并且同一处理各重复间 SPAD 值更稳定。

2.3 施氮对滴灌春小麦产量的影响

随着施氮量的增加,滴灌春小麦的产量先增后降,说明施氮量不足和过高都会导致减产,因此可以用一元二次方程对施氮量与产量的关系进行拟合(图 3)。对图 3 的方程求偏导,得到最高产量为 7 301 kg·hm⁻²,对应的施氮量为 261 kg·hm⁻²。此施

氮量为全生育期总施氮量,可以作为追施氮肥总量

的参考。

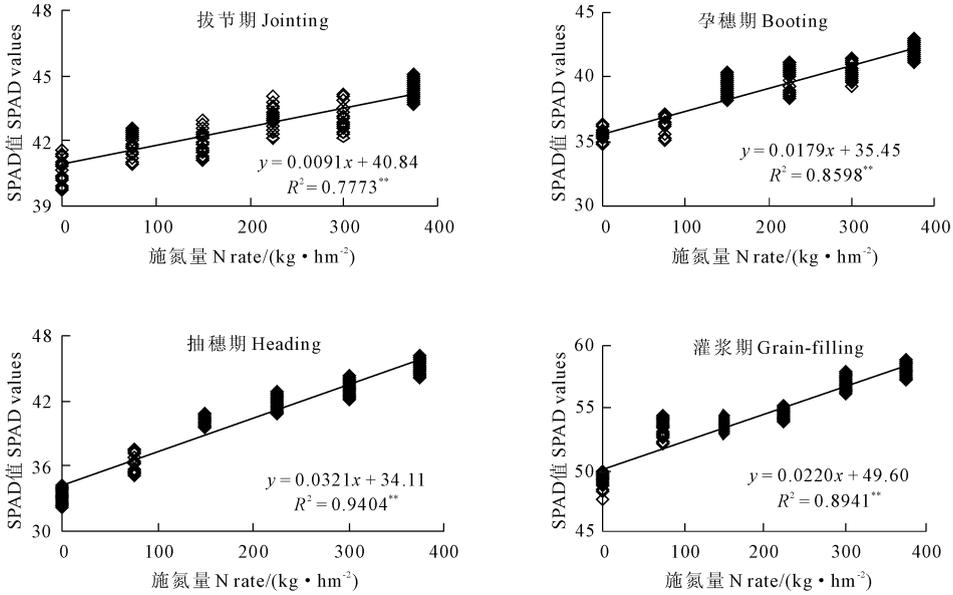


图 2 滴灌春小麦各生育时期叶片 SPAD 值与施氮量的关系

Fig. 2 Relationships between SPAD values of leaves at different growth stages and N rates on drip-irrigated spring wheat

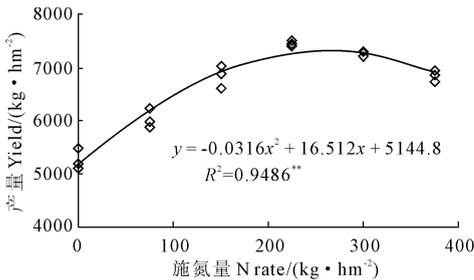


图 3 施氮对滴灌春小麦产量的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen rate on yield of drip-irrigated spring wheat

2.4 滴灌春小麦不同生育时期叶片 SPAD 临界值的确定

滴灌春小麦拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期叶片 SPAD 值与产量之间表现为二次曲线关系(图 4),说明在一定范围内,滴灌春小麦叶片 SPAD 值增大,产量也增加,叶片 SPAD 值超过一定值以后,产量增加缓慢或者有所下降。根据图 4 中 4 个时期滴灌春小麦叶片 SPAD 值与产量的关系函数,求得达到最高产量的拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期的最适 SPAD 值分别为 44.0、40.7、43.6、55.8。一般将最高产量的 90%~95%作为临界值,根据不同生育时期 SPAD 值与产量的函数关系,确定拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期的临界 SPAD 值分别为 42.4、39.4、41.8、54.1。

2.5 基于叶片 SPAD 值的滴灌春小麦氮肥推荐模型的建立

根据滴灌春小麦各生育时期的叶片 SPAD 值与施肥量的线性关系以及临界 SPAD 值,可以建立 SPAD 值诊断追肥模型。设图 2 所示的线性关系求出的各生育时期的测定 SPAD 值前一次的氮肥水平为 N_{fer} ,全生育时期总施氮量为 N_{opt} ,则各生育时期阶段 N_d 追肥量:

$$N_d = N_{opt} - N_{fer} \quad (1)$$

$$N_{fer} = (SPAD - a)/b \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式,得到 SPAD 值诊断推荐施肥模型:

$$N_d = N_{opt} + a/b - SPAD/b \quad (3)$$

式中, N_d 为各生育阶段追氮量, N_{opt} 为小麦全生育时期总施氮量,单位为 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; b 为各生育时期的 SPAD 值与施氮量线性方程的回归系数; a 为截距。

将 $N_{opt} = 261 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以及图 2 确定的 a, b 值代入式(3),可以得到各生育期推荐追肥模型(表 1)。根据氮肥推荐模型计算出各生育期所需要的施肥量,并依据此进行氮肥推荐。

2.6 推荐施肥与常规施肥的对比

由表 2 得出常规施肥和按模型推荐施肥与不施氮肥相比产量分别提高了 44.0%、43.2%,但常规施肥与按模型推荐施肥间产量无显著差异。而按模型推荐施肥与常规施肥相比可以节约肥料 7.86%、提高肥料利用率 9.64%。表明在保证产量的前提下,

按模型推荐施肥可以减少肥料投入。

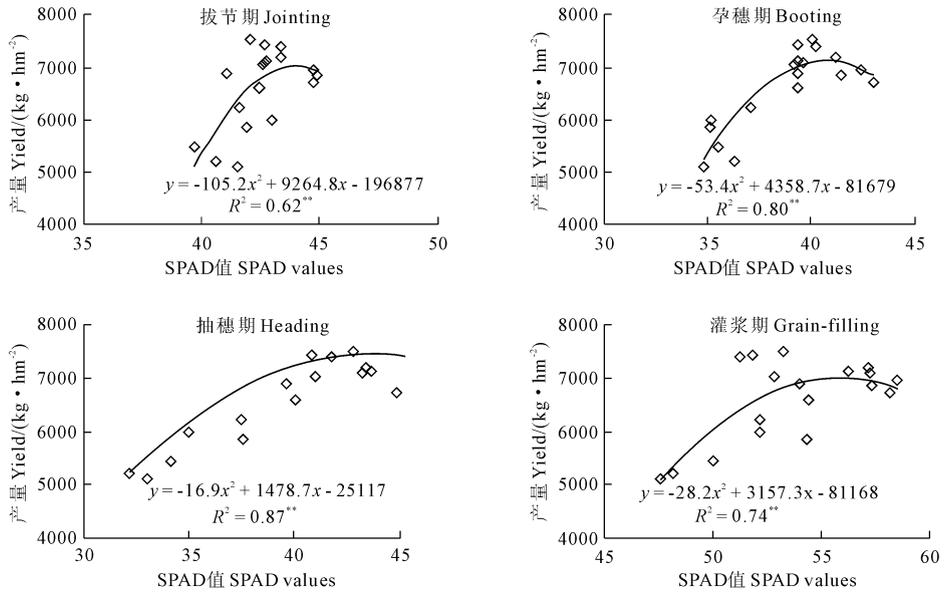


图 4 滴灌春小麦各生育时期叶片 SPAD 值与产量的关系

Fig.4 Relationships between SPAD values of leaves at different growth stages and yield of drip-irrigated spring wheat

表 1 滴灌春小麦各生育期氮肥推荐模型

Table 1 Recommended models for nitrogenous fertilizer rate at different stages of drip-irrigated spring wheat

生育期 Growth stages	<i>a</i>	<i>b</i>	氮肥推荐模型 The model of N recommended rate
拔节期 Jointing	40.84	0.0091	$Nd = 4748.9 - SPAD/0.0091$
孕穗期 Booting	35.45	0.0179	$Nd = 2241.4 - SPAD/0.0179$
抽穗期 Heading	34.11	0.0321	$Nd = 1323.6 - SPAD/0.0321$
灌浆期 Grain-filling	49.60	0.0220	$Nd = 2515.5 - SPAD/0.0220$

3 讨论

滴灌春小麦从拔节期到抽穗期小麦叶片 SPAD 值略有减小,相对稳定,随后迅速增加,进入灌浆期后开始减小。这可能是因为小麦生育前期干物质迅速积累,叶片叶绿素含量相对较低,导致叶片 SPAD 值也较小^[13];抽穗期到灌浆期干物质较稳定,叶片 SPAD 值随叶片叶绿素含量增加而增加;进入灌浆期

叶片氮素和叶绿素向籽粒中转运,叶片 SPAD 值减小。而朱云等^[14]认为,小麦拔节期到孕穗期叶片 SPAD 值相对稳定,孕穗期到抽穗期略有增加,其他时期与本研究结果相似。这可能是由不同品种小麦生育特性导致的。郑飞等^[11]和胡昊等^[12]研究表明,冬小麦叶片 SPAD 值随生育期呈先增加后减小趋势。

叶片 SPAD 值与施氮量和产量的相关关系表明,SPAD 值能够很好地反映滴灌春小麦氮素营养状况,这与潘薇薇等^[15]和胡昊等^[12]的研究结果一致。谢华等^[10]试验表明,冬小麦从返青到成熟期随着施氮量的增加,叶片 SPAD 值也相应增加,但当施氮量达到一定程度以后,再增加施氮量并没有带来叶片 SPAD 值的相应增加,这与本研究结果不同。本研究表明,随着施氮量的增加,滴灌春小麦叶片 SPAD 值也一直增加,这可能是因为本研究的最高施氮量相对较小,叶片 SPAD 值并未随施氮量增加而增加。Blackmer^[16]研究发现,不论在供氮充足和缺乏时,作

表 2 推荐施肥处理和常规施肥处理的比较

Table 2 Comparisons between nitrogen strategy models and conventional fertilization treatments

处理 Treatment	各生育期氮肥施用量/(kg·hm ⁻²) N rate of different growth stages					总施氮量 Total N /(kg·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	氮肥当季 利用率 Nitrogen fertilizer use efficiency/%
	基肥 Base fertilizer	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗期 Heading	灌浆期 Grain-filling			
N0	0	0	0	0	0	0	5447b	
Nc	45	90	45	22.5	22.5	225	7842a	46.7
Nd	45	77.3	46.7	17.5	20.8	207.3	7798a	51.2

物叶片 SPAD 值和产量都有很好的相关性;但处于奢侈吸收时,产量不再随叶片 SPAD 值增加而增加。这与本研究结果相似,各生育时期叶片 SPAD 值与产量呈二次相关。

陈俊辉等^[17]和李刚华等^[18]利用叶绿素仪分别对马铃薯和水稻进行氮素营养诊断,并建立氮肥推荐模型。潘薇薇等^[15]、王晓静等^[19]和李新伟等^[20]分别基于棉花叶片 SPAD 值、叶柄 NO_3^- 含量和冠层 NDVI 值建立了棉花氮肥分期推荐模型。近年来,新疆滴灌技术在小麦上的应用使肥料可以按小麦生育时期随水滴施。本研究应用叶绿素仪得出滴灌小麦拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期的临界 SPAD 值分别为 42.4、39.4、41.8、54.1,并建立滴灌春小麦氮肥分期推荐模型,田间对比试验表明该模型在保证产量前提下,可以节约肥料,提高氮肥利用率。

本试验基于新春 35 号得到推荐施肥模型,由于不同品种^[21-23]小麦在同一生育时期叶片 SPAD 值差异很大,并且叶片 SPAD 值随生育时期变化容易造成实际测量日期与模型日期不符,导致追肥模型误差增大。因此,今后应对本地区主栽小麦品种适用于生育期中任何一天的追肥推荐模型加以研究。

4 结 论

应用叶绿素仪(SPAD - 502)可以比较准确地推测和诊断小麦氮素营养水平。小麦拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期叶片的临界 SPAD 值分别为 42.4、39.4、41.8、54.1。建立基于叶片 SPAD 值的滴灌春小麦氮肥分期追施模型与常规施肥相比可以减少施肥量、提高肥料利用率,模型可以指导滴灌春小麦氮肥分期施用。

参 考 文 献:

- [1] 王小明,王振峰,张新刚,等.不同施氮量对高产小麦茎蘖消长,花后干物质积累和产量的影响[J].西北农业学报,2013,22(6):1-8.
- [2] 刘其刁,明,王江丽,等.施氮对滴灌春小麦干物质、氮素积累和产量的影响[J].麦类作物学报,2013,34(4):722-726.
- [3] 李宁,王振华.北疆不同灌水次数对滴灌春小麦生长及产量的影响[J].节水灌溉,2013,(7):13-15.
- [4] 彭婷,蒋桂英,段瑞萍,等.滴灌春小麦群体质量与产量的关系[J].麦类作物学报,2014,34(5):655-661.
- [5] 程裕伟,任辉,马富裕,等.北疆地区滴灌春小麦干物质积累,分配与转运特征研究[J].石河子大学学报,2011,29(2):133-139.
- [6] 罗新宁.基于 SPAD 值的棉花氮素营养诊断及氮营养特性研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [7] 潘薇薇.应用叶绿素仪进行棉花氮素营养诊断[D].石河子:石河子大学,2008.
- [8] 李志宏,刘宏斌,张福锁.应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):401-405.
- [9] 谢华,沈荣开,徐成剑,等.水、氮效应与叶绿素关系试验研究[J].中国农村水利水电,2003,(8):40-43.
- [10] 王亚飞.SPAD 值用于小麦氮肥追施诊断的研究[D].扬州:扬州大学,2008.
- [11] 郑飞,岳俊芹,邵运辉,等.不同弱春性小麦品种 NDVI 与 SPAD 之间的相关性[J].麦类作物学报,2008,28(2):291-294.
- [12] 胡昊,白由路,杨俐苹,等.基于 SPAD - 502 与 GreenSeeker 的冬小麦氮营养诊断研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4):748-752.
- [13] 郭建华,王秀,陈立平,等.快速获取技术在小麦推荐施肥中的应用[J].土壤通报,2010,41(3):664-667.
- [14] 朱云,史力超,冶军,等.滴灌春小麦氮素营养诊断施肥方法研究[J].麦类作物学报,2015,35(1):93-98.
- [15] 潘薇薇,危常州,丁琼,等.膜下滴灌棉花氮素推荐施肥模型的研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):204-210.
- [16] Blackmer T M, Schepers J S. Techniques for monitoring crop nitrogen status of corn[J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 1994,25(9-10):1791-1800.
- [17] 陈俊辉.适于不同马铃薯品种的 SPAD 仪氮素营养诊断指标的确立[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [18] 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.
- [19] 王晓静,张炎,李磐,等.棉花氮素营养状况的诊断研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):656-661.
- [20] 李新伟,吕新,张泽,等.棉花氮素营养诊断与追肥推荐模型[J].农业机械学报,2014,45(12):209-214.
- [21] Schepers J S, Francis D D, Vigil M, et al. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings, *Commun. Soil Sci Plant Anal*, 1992,23(17-20):2173-2187.
- [22] Minotti P L, Halseth D E, Siczka J B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties[J]. *Hort. Science*, 1994,29(12):1497-1500.
- [23] Campbell R J, Mobley K N, Marini R P, et al. Growing condition alter the relationship between SPAD - 501 values and apple leaf chlorophyll[J]. *Hort Sci*, 1990,25(3):330-331.