

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2014)06-0348-06

## 基于叶绿素仪诊断的马铃薯氮肥管理

樊明寿<sup>1\*</sup>, 聂向荣<sup>1,2</sup>, 李秀华<sup>1,3</sup>, 李立<sup>1,4</sup>, 秦永林<sup>1</sup>, 刘艳春<sup>1,5</sup>, 陈俊辉<sup>1</sup>,  
井涛<sup>1,6</sup>, 陈杨<sup>7</sup>, 贾立国<sup>1</sup>, 郑红丽<sup>1</sup>, 张子义<sup>8</sup>, 李斐<sup>7</sup>

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古武川县农业局, 内蒙古 武川 011700; 3. 内蒙古固阳县农业局, 内蒙古 固阳 014200; 4. 大同大学生命科学学院, 山西 大同 037009; 5. 内蒙古赤峰市农牧科学研究院生物技术所, 内蒙古 赤峰 024000; 6. 中国热带农业科学院香蕉所, 海南 海口 570102; 7. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 8. 内蒙古农业大学生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:** 在简要介绍叶绿素仪工作原理的基础上, 系统总结了课题组从2007~2014年采用叶绿素仪进行马铃薯氮素营养状况诊断的研究结果, 详细分析了使用叶绿素仪SPAD-502进行马铃薯氮素营养诊断的影响因素, 确立了诊断叶位, 建立了临界SPAD值的计算方法, 阐述了临界SPAD值与诊断时间的关系, 筛选了适应于不同马铃薯品种的临界SPAD指数 $S_{1.4-5}$ , 总结集成了应用诊断结果指导马铃薯氮肥管理的技术模型, 并对该模型的应用提出了建议。

**关键词:** 马铃薯; 叶绿素仪; 氮素营养诊断; 氮肥推荐模型

## Nitrogen Nutrient Management Based on Diagnosis of Potato N Status by Using Chlorophyll Meter

FAN Mingshou<sup>1\*</sup>, NIE Xiangrong<sup>1,2</sup>, LI Xiuhua<sup>1,3</sup>, LI Li<sup>1,4</sup>, QIN Yonglin<sup>1</sup>, LIU Yanchun<sup>1,5</sup>, CHEN Junhui<sup>1</sup>,  
JING Tao<sup>1,6</sup>, CHEN Yang<sup>7</sup>, JIA Ligu<sup>1</sup>, ZHENG Hongli<sup>1</sup>, ZHANG Ziyi<sup>8</sup>, LI Fei<sup>7</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 2. Wuchuan Bureau of Agriculture, Wuchuan, Inner Mongolia 011700, China; 3. Guyang Bureau of Agriculture, Guyang, Inner Mongolia 014200, China; 4. College of Life Science, Datong University, Datong, Shanxi 037009, China; 5. Section of Bio technique, Chifeng Academy of Agricultural Sciences, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China; 6. Institute of Banana, Chinese Academy of Tropical Agriculture, Haikou, Hainan 570102, China; 7. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 8. College of Life Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

**Abstract:** After the brief introduction of working principle of chlorophyll meter, the research results on potato nitrogen nutrition diagnosis by using chlorophyll meter SPAD-502 were summarized, which were conducted from 2007 to 2014 in Inner Mongolia. In order to avoid or reduce the interference of N excluding factors on diagnosis by using chlorophyll meter, the suitable leaf position for diagnosis was determined, threshold index and its relationship with diagnosis time was analyzed and established. The screening process of the relative threshold SPAD index  $S_{1.4-5}$  was also summarized, which adapted to different potato varieties to certain extent. Finally, N recommendation model based on chlorophyll meter diagnosis was proposed, and the suggestions or notes for its use were proposed as well.

**Key Words:** potato; chlorophyll meter; nitrogen diagnosis; nitrogen recommendation model

收稿日期: 2014-10-31

基金项目: 内蒙古重大基金“马铃薯优质高产氮素营养SPAD诊断指标体系的研究”(2013ZD04); 国家自然科学基金“氮素营养对马铃薯块茎形成的影响及其机制”(31360502)。

作者简介: 樊明寿(1965-), 男, 教授, 从事马铃薯营养生理及养分管理的研究。

\*通信作者(Corresponding author): 樊明寿, E-mail: fmswh@126.com。

在马铃薯生产中, 氮肥的使用量不断的增加, 这不仅使马铃薯生产成本升高, 而且造成氮肥利用率降低, 增加了环境风险<sup>[1-4]</sup>。但是充足的氮素供应是马铃薯高产的前提, 氮肥施用不足会造成减产。因此, 马铃薯氮肥的精确管理引起了多方的关注并已逐渐成为普遍共识, 国内外研究人员正在从不同角度探索适宜的马铃薯氮肥管理技术<sup>[1]</sup>。

20世纪60年代, 日本发明了便携式叶绿素仪用于快速无损检测植物叶片的叶绿素含量。由于使用该仪器测定具有简单、快速、非破坏性的特点, 因此叶绿素仪的发明引起了广泛的关注, 并且由于氮素是植物叶绿素的组成元素, 氮素的盈亏直接影响植物叶片的叶绿素代谢, 缺氮时作物叶片叶绿素浓度下降叶色发黄, 所以在叶绿素仪发明之后不久便有人开始尝试采用叶绿素仪进行作物氮素营养诊断和推荐施肥的研究<sup>[5,6]</sup>, 目前已在水稻、玉米、小麦等作物上取得了一些突破性的研究成果<sup>[5]</sup>。在马铃薯上, 国内外的科学家也开始了一些有益的探索, 取得了一些进展, 但尚未形成成熟技术用于马铃薯氮肥管理实践<sup>[5,6]</sup>。本课题组从2007~2014年, 进行了多年、多点及多品种的试验研究, 尝试建立基于叶绿素仪SPAD-502诊断的马铃薯氮肥管理体系。本文对研究进展作一全面总结。

## 1 叶绿素仪SPAD-502的工作原理

叶绿素对不同波长光的吸收存在差异, 在波长650 nm左右的红光区, 叶绿素a和b都有最大吸收峰, 而在波长940 nm左右远红光区几乎没有吸收。日本生产的叶绿素仪SPAD-502采用双波长发光二极管LED光源, 一个为红光, 另一个为远红光, 光线穿过叶片时, 一部分光被叶片吸收, 透射的光被光线接收系统接收, 光线接收系统为硅光二极管, 它将光信号转换为模拟电信号, 电信号经放大器放大后再由A/D转换器转化为数字信号。每次测定样品时, 微处理器计算两种波长的光密度比值, 通过对比有无待测样品时光密度的差异来计算出相对叶绿素读数, 即为SPAD值。除了日本研制的SPAD-502外, 欧洲还研制了另外一种类型叶绿素仪HNT, 其工作原理相同, 只是读数不同而已。本文采用的是日本Minolta公司生产的SPAD-502叶绿素仪。

## 2 使用叶绿素仪SPAD-502进行马铃薯氮素营养诊断的可行性

传统的氮素营养诊断方法主要是基于土壤和植物组织的实验室分析, 这些分析普遍需要破坏土壤和植株, 且从取样到测得结果需耗费大量的时间、人力和物力, 从而不能适时无损地对作物进行营养诊断, 而且实验室分析需要有经验的专业分析人员, 大量的分析试剂及设备, 带来许多不便。并且用植物组织分析法进行营养诊断破坏了大量的植株, 对产量会造成一定的影响。叶色诊断法、肥料窗口法等技术虽简便、快捷, 并曾在水稻生产中发挥了重要作用, 但在实际操作中受人为因素的影响很大, 没有一个明确的标准, 不够精确。因此, 非破坏性、快速、准确预测植物氮素营养状况的方法建立成为现代营养诊断的基本标准。

叶绿素仪法是利用叶绿素仪对作物叶片的叶绿素含量进行检测的一种方法, 由于叶片叶绿素含量受供氮素水平影响, 所以叶绿素仪被认为可以进行植物氮素营养诊断, 而且由于其具备快速、无损、准确的特点, 因此倍受到越来越多的关注。

但是, SPAD-502仪是直接检测叶绿素含量的, 其读数能否准确反映马铃薯的氮素营养状况必须经过研究检验。虽然在小麦、玉米、水稻等作物上的研究表明, 叶片SPAD值与叶绿素含量以及叶片氮含量呈极显著正相关<sup>[5,6]</sup>, 但马铃薯的叶片结构与谷类作物显著不同, 而且生长特性和营养特点也完全不同, 因此谷类作物的研究结果难以直接在马铃薯中应用。早在1993年, 荷兰Vos和Bom<sup>[7]</sup>就进行过检测, 发现SPAD值不仅与马铃薯叶片叶绿素高度正相关, 而且与叶片全氮的含量显著正相关。之后, 这一结果被国内外一些研究陆续证明<sup>[2,3]</sup>。本课题组多年、多点的研究表明, 尽管马铃薯叶片SPAD值会随地点、品种、年份变化, 但SPAD值与叶片含氮量的正相关趋势不变, 而且整个生育期内均表现如此<sup>[8-11]</sup>。这就奠定了开展马铃薯氮素营养状况SPAD仪诊断的基础。

研究同时还表明, 马铃薯叶片SPAD值与块茎产量存在显著的正相关关系<sup>[8-14]</sup>, 可以用来预测产量。基于上述结果, 可以断言采用SPAD-502进行马铃薯氮素营养诊断并推荐施肥具有较大的可行性。

### 3 基于 SPAD-502 的氮素营养诊断指标体系的建立

#### 3.1 诊断叶位

在水稻、玉米等作物上的研究表明, 作物不同叶位 SPAD 值存在较大的差异<sup>[6]</sup>, 这提示马铃薯叶绿素仪诊断必须确立适宜的诊断叶片。李井会<sup>[15]</sup>对马铃薯的倒4叶到倒10叶进行了测定, 发现不

同叶位的 SPAD 值不同, 从倒4叶到倒10叶 SPAD 值逐渐降低, 这进一步说明了确立诊断叶位的必要性。本课题组在两个地点的研究发现, 不仅马铃薯的叶位影响 SPAD 值, 而且复叶中的小叶乃至小叶的不同测定位点均影响 SPAD 读数; 并进一步通过比较各测定位点的稳定性和对氮素供应的敏感性, 确立了马铃薯的倒4复叶中顶小叶的顶端是适宜的诊断部位<sup>[16]</sup>(图1)。

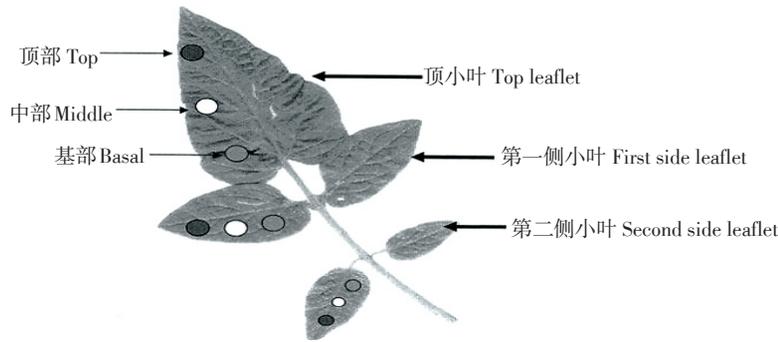


图1 用于马铃薯氮素营养叶绿素仪诊断的复叶、小叶以及小叶内测定点的分布

Figure 1 Diagram of leaflets of compound leaf and measuring positions in leaflets of potato used for SPAD measurement

#### 3.2 临界 SPAD 值

要通过 SPAD-502 营养诊断实现推荐施肥, 必须确立临界 SPAD 值, 即实测值若低于临界 SPAD 值, 意味着需要施肥, 相反若实测值高于临界值, 则没必要施肥。研究表明, 马铃薯叶片 SPAD 值与块茎产量存在如公式(1)所示线性加平台的回归关系<sup>[8]</sup>。

$$Y = a + bX, \text{ for } X < X_c \quad (1)$$

$$Y = c, \text{ for } X > X_c$$

其中, X 代表 SPAD 值, Y 代表块茎产量。X<sub>c</sub> 是线性加平台的转折点对应的 SPAD 值, 也就是临界 SPAD 值。图2即是本课题组在内蒙古武川马铃薯产区建立的出苗后 33 d 马铃薯品种‘夏波蒂’叶片 SPAD 值与最终块茎产量的回归方程, 其临界 SPAD 值为 49.46。

由于临界 SPAD 值的确立受到土壤条件、气候等因素的影响, 致使同一马铃薯品种在同一地区的不同年份得出的临界 SPAD 值不完全相同(表1), 这使得应用难以进行。为消除土壤、气候的影响, 课题组尝试采用了相对产量与 SPAD 值进行回归分析的方法<sup>[8-14]</sup>。相对产量即各氮肥水平下产量与同一试验地中的最高产量比。结果表明, 该办法消除

了地块、年份的影响, 采用同一品种在不同地块以及不同年度进行试验, 所得临界 SPAD 值无显著差异<sup>[8-13]</sup>。

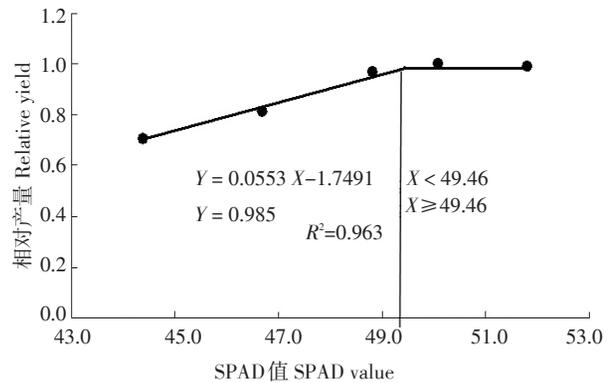


图2 基于相对产量与 SPAD 值回归关系确定临界 SPAD 值 (以 2010 年采用‘夏波蒂’品种在内蒙古武川新河村进行的试验为例)

Figure 2 Sketch for determination of threshold SPAD value based on regression model of relative potato tuber yield with SPAD (exemplification of relationship of relative potato tuber yield with leaf SPAD value at 33 days after emergence (DAE) for variety ‘Shepody’ at Xinhecun, Wuchuan, Inner Mongolia, 2010)

表1 马铃薯叶片SPAD值方差分析  
Table 1 Analysis of variance of potato leaf SPAD values

变异来源 Source	SS	df	MS	F	Sig.
地点 Site	522.113	1	522.113	368.430	0.000
生长阶段 Growth stage	1188.053	2	594.026	419.176	0.000
叶位 Leaf position	340.674	3	113.558	80.132	0.000
品种 Variety	309.981	6	51.664	36.456	0.000
误差 Error	219.655	155	1.417		
总变异 Total	2626.918	167			

### 3.3 诊断时间

虽然马铃薯不存在像谷类作物营养生长与生殖生长的明显转折, 整个生育期均可以看作是营养生长。但 Vos 小组与本课题组的研究充分显示, 马铃薯叶片 SPAD 值随生育进程呈下降的趋势<sup>[7,8,12]</sup>, 这意味着马铃薯叶片的临界 SPAD 值在整个生育期内不是一个固定值, 而是不同时期对应有不同的临界 SPAD 值, 否则, 必然会出现施肥指导失误。为

此, 课题组通过多点试验, 并在生育期内密集取样, 建立了如图3所示的动态临界SPAD计算模型。

有了这样一个模型, 使用者即可根据自己的实际测定时间, 计算出该时间相应的临界 SPAD 值, 进而做出是否施肥的判断。如使用者在出苗后 30 d 进行测定, 所测叶片 SPAD 值为 55, 则根据模型可计算出该期的临界 SPAD 值应为 50.307, 并可判断此时马铃薯植株氮素营养充足, 不需施氮。

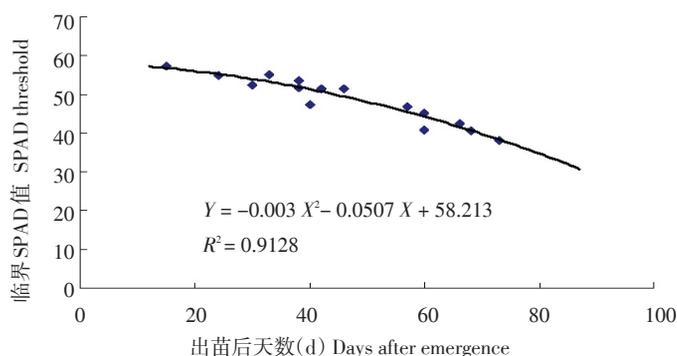


图3 马铃薯‘夏波蒂’品种叶片临界SPAD值随时间的变化

Figure 3 Variation of threshold SPAD values with time of potato variety ‘Shepody’

### 3.4 不同品种的普适指标

Minotti 等<sup>[17]</sup>曾报道, 在 12 次采样测定中, 有 8 次马铃薯品种间 SPAD 值差异达到极显著水平, 特别是在施氮量高的情况下, 不同品种之间差异更大。本课题组选用 7 个马铃薯品种在两个地点的研究结果进一步证实了 Minotti 等的发现, 即品种间的叶色差异普遍存在(表 1), 这意味着, 通过上述方法确立的临界 SPAD 值只适用于一个特定品种, 当使用不同品种时则必须重新建立新的临界指标, 无疑增加了研究工作量, 更不便推广。

基于上述原因, 课题组尝试了两种办法消除其影响。

(1) 根据植物体内氮素循环的原理——即缺氮时植株成熟老叶会将其氮素转运至上部幼叶, 导致上下叶位的颜色差距加大的规律, 尝试应用上下叶位的 SPAD 值差  $S_{l4-8}$  (计算方法为  $S_{l4-8} = SPAD_{l4} - SPAD_{l8}$ 。其中  $SPAD_{l4}$  为倒 4 叶的 SPAD 值,  $SPAD_{l8}$  为倒 8 叶的 SPAD 值)。与相对产量建立回归方程, 并计算相对临界值。结果表明, 相对临界  $S_{l4-8}$  不受马铃薯品种的影响(表 2)。

(2) 根据叶片厚度显著影响透光率并进而影响 SPAD 值的基本事实, 设计计算了相对 SPAD 值即  $SALM = SPAD/ALM$ , 其中  $ALM = \text{叶重(鲜重)}/\text{叶面积}$ 。结果表明, 虽 SALM 与植株含氮量的相关更为密

表2 马铃薯叶片  $S_{L4-8}$  值变异因素的方差分析  
Table 2 Analysis of variance of  $S_{L4-8}$  values ( $S_{L4-8} = SPAD_{L4} - SPAD_{L8}$ )

来源 Source	SS	df	MS	F	Sig.
地点 Site	26.102	1	26.102	26.631	0.000
生育阶段 Growth Stage	10.800	2	5.400	5.510	0.009
品种 Variety	3.229	6	0.538	0.549	0.767
误差 Error	31.364	32	0.980		
总变异 Total	71.495	41			

切, 而且在相同供氮水平下, 不同品种的SALM值差距显著减小, 但部分品种间仍然存在显著差异<sup>[9]</sup>。因此,  $S_{L4-8}$  被看作是一个普适指标, 可以用于指导不同马铃薯品种的氮肥施用。

由于  $S_{L4-8}$  具有优于SPAD原始读数的优点, 而且

不需要复杂计算, 仅需将上下两片叶子的SPAD原始读数相减即可获得, 因此, 按照图4所示的方法重新计算整个生育期内任何时间的临界  $S_{L4-8}$ , 如, 块茎形成初期临界  $S_{L4-8} = -1.8637$ , 然后根据实测  $S_{L4-8}$  与临界  $S_{L4-8}$  的差确定是否施肥以及进一步确定施用数量。

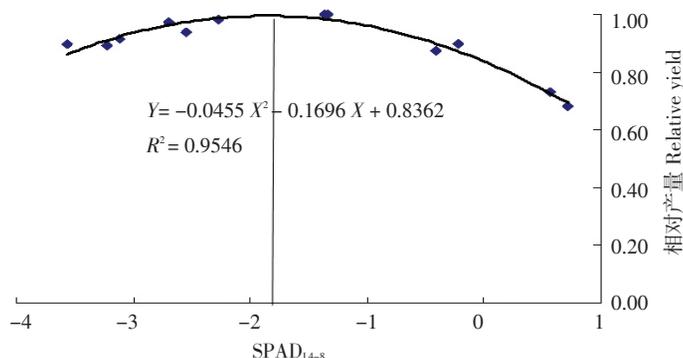


图4 内蒙古阴山北麓地区马铃薯块茎形成期  $SPAD_{L4-8}$  与相对产量的关系  
(相对产量最大时的  $SPAD_{L4-8}$  值即为临界  $SPAD_{L4-8}$ , 表示为  $S_{L4-8}$ )

Figure 4 Regression model between potato relative yield and its  $SPAD_{L4-8}$  at tuber initiation stage in Yinshan area of Inner Mongolia (the corresponding  $SPAD_{L4-8}$  when relative yield reach the peak is considered as  $S_{L4-8}$  which denoted the threshold  $SPAD_{L4-8}$ )

#### 4 基于叶片 SPAD-502 营养诊断的氮肥推荐

追肥数量的确定依赖于施肥模型的建立, 一个准确且实用的模型建立, 不仅需要大量田间试验, 而且需要恰当的统计分析。本课题组在总结分析国内外大量关于水稻、小麦、玉米的施肥模型的基础上, 并遵循总量控制、分期调控的原则, 提出了基于叶片 SPAD-502 营养诊断的马铃薯氮肥推荐模型。该模型的基本思路是, 按照传统养分平衡法, 根据产量目标确定氮肥施用总量  $N_r$ , 然后根据马铃薯不同生育阶段对氮素的吸收规律确立基、追比例和数量, 设基肥氮数量为  $N_0$ , 块茎形成期计划追氮量

为  $N_1$ , 块茎膨大期计划追氮量为  $N_2$ , 而在这两个时期的实际施氮量  $N_1'$ 、 $N_2'$  则需要计算出相应的追肥系数  $\alpha$  (公式 2), 并按如下模型 (公式 3) 确定:

$$\alpha = (N_{\text{threshold}} - N_{\text{real}}) / N_{\text{threshold}} \quad (2)$$

$$N_1' = N_1 \times (1 + \alpha_1); N_2' = N_2 \times (1 + \alpha_2) \quad (3)$$

$N_{\text{threshold}}$  为该时期临界  $S_{L4-8}$  下的吸氮量;

$N_{\text{real}}$  是实测  $S_{L4-8}$  下的吸氮量。

二者分别通过  $S_{L4-8}$  与吸氮量  $Y$  的关系方程 (4)、(5) 计算获得。

块茎形成初期:

$$Y = -4.2205 X + 26.932 (X \text{ 为 } S_{L4-8}) \quad (4)$$

块茎膨大初期:

$$Y = -9.3181X + 129.41 \quad (5)$$

假定在内蒙古阴山北麓地区, 目标产量定为 45 t/hm<sup>2</sup>, 根据过去测土配方资料确定氮肥施用总量 225 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥按 30% 计算为 67.5 kg/hm<sup>2</sup>, 块茎形成期计划追肥量 N<sub>i</sub> 按 40% 计算为 90 kg/hm<sup>2</sup>, 在块茎形成初期测得的 S<sub>1.4-8</sub> 为 1, 则可根据图 4 所示的回归模型计算出该期的临界 S<sub>1.4-8</sub> = -1.8637, 然后根据公式(4)计算出:

$$N_{\text{threshold}} = 34.94$$

$$N_{\text{real}} = -22.7115$$

进一步根据公式(2)计算出追肥系数  $\alpha = 0.35$ ;

于是根据公式(3)可计算出实际施肥量:

$$N_i' = N_i \times (1 + \alpha_i) = 90 \times (1 + 0.35) = 121 \text{ kg/hm}^2.$$

假如实测 S<sub>1.4-8</sub> 为 -4, 则实际施肥量:

$$N_i' = N_i \times (1 + \alpha_i) = 90 \times (1 - 0.26) = 66 \text{ kg/hm}^2$$

这一模型已得到多点检验, 详细结果将另行撰文报道。

## 5 小 结

本文通过分析叶绿素仪 SPAD-502 的特点以及其读数与马铃薯植株氮素含量、马铃薯产量的数量关系, 判断采用叶绿素仪 SPAD-502 进行马铃薯氮素营养诊断并推荐施肥是可行的。在此基础上, 系统介绍了诊断叶位的确立及其依据、临界 SPAD 的确定原则及其与诊断时间的关系、不同品种普适指标 S<sub>1.4-8</sub> 的筛选过程及依据, 以及根据 S<sub>1.4-8</sub> 进行推荐施肥的模型。这一模型将为马铃薯氮肥的精确管理提供强有力的技术支撑。

需要注意的是, 本文所有指标和模型是在水分充足供应、病虫害严格控制、无自然灾害的前提下提出的, 因此其使用必须紧密结合这些相应的栽培管理措施。另外, 虽然研究布置了多点试验, 而且使用了不同品种, 但主要试验是在内蒙古阴山北麓地区完成, 采用的品种熟期为中晚熟品种。因此, 本文所涉及指标和模型适用于上述条件, 是否适于其他地区与其他类型品种, 尚需试验检验。

本文的追肥只设置了 2 个时间节点, 实际应用时可在所确定追肥量前提下, 结合灌溉方式增加追肥次数分次施用。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Alva A, Fan M, Chen Q, *et al.* Improving nutrient-use efficiency in Chinese potato production: Experiences from the United States [J]. *Journal of Crop Improvement*, 2011, 25: 46-85.
- [ 2 ] 陈杨, 樊明寿, 康文钦, 等. 内蒙古阴山丘陵地区马铃薯施肥现状与评价 [J]. *中国土壤与肥料*, 2012 (2): 104-109.
- [ 3 ] Hu B, Fan M, Hao Y, *et al.* Potato-cabbage double cropping effect on nitrate leaching and resource-use efficiencies in an irrigated area [J]. *Pedosphere*, 2012, 22(6): 842-847.
- [ 4 ] 井涛, 樊明寿, 周登博. 滴灌施氮对高垄覆膜马铃薯产量、氮素吸收及土壤硝态氮积累的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(3): 654-661.
- [ 5 ] 陈杨, 樊明寿, 李斐, 等. 氮素营养诊断技术的发展及其在马铃薯生产中的应用 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(3): 66-71.
- [ 6 ] 刘艳春, 樊明寿. 应用叶绿素仪 SPAD-502 进行马铃薯氮素营养诊断的可行性 [J]. *中国马铃薯*, 2012, 26(1): 45-48.
- [ 7 ] Vos J, Bom M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage [J]. *Potato Research*, 1993, 36: 301-308.
- [ 8 ] 聂向荣. 不同氮肥水平下马铃薯品质变化及氮素营养诊断的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [ 9 ] 李秀花. 基于 SPAD 诊断的马铃薯的氮肥管理 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [ 10 ] 李利. 基于 SPAD 的马铃薯氮素营养诊断研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [ 11 ] 井涛. 膜下滴灌马铃薯生长发育规律及其对水氮的响应 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [ 12 ] 刘艳春. 应用叶绿素仪对马铃薯氮素营养状况进行动态诊断 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [ 13 ] 秦永林. 不同灌溉模式下马铃薯的水肥效率及膜下滴灌的氮肥推荐 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [ 14 ] 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定 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [ 15 ] 李井会. 不同氮肥运筹下马铃薯氮素利用特性及营养诊断的研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2006.
- [ 16 ] Li L, Qin Y, Liu Y, *et al.* Leaf positions of potato suitable for determination of nitrogen content with a SPAD meter [J]. *Plant Prod Sci*, 2012, 15(4): 317-322.
- [ 17 ] Minotti P L, Halseth D E, Siczka J B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties [J]. *HortScience*, 1994, 29(12): 1497-1500.