

doi: 10.11838/sfsc.20160305

# 中国北方紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量初步研究

孙洪仁\*, 曹影, 刘琳, 吴雅娜, 杨晓洁, 赵雅晴

(中国农业大学草地研究所, 北京 100193)

**摘要:** 为了初步建立我国北方紫花苜蓿土壤有效磷 (Olsen-P) 丰缺指标, 并确定不同丰缺级别土壤的适宜施磷量, 采用土壤有效养分含量与缺素处理相对产量回归方程法、土壤有效养分丰缺分级改良方案和“养分平衡—地力差减法”确定适宜施肥量新应用公式, 开展了本研究。结果表明, 东北平原区第1~5和6~11级土壤有效磷丰缺指标依次为 >26、14~26、7~14、4~7、2~4 和 0~2 mg/kg; 内蒙古高原区第1~11级土壤有效磷丰缺指标依次为 >28、16~28、9~16、5.2~9、3.0~5.2、1.7~3.0、1.0~1.7、0.6~1.0、0.3~0.6、0.2~0.3 和 0~0.2 mg/kg; 西北荒漠绿洲区第1~5和6~11级土壤有效磷丰缺指标依次为 >20、12~20、7~12、4~7、2.4~4 和 0~2.4 mg/kg; 黄土高原区第1~5和6~11级土壤有效磷丰缺指标依次为 >29、15~29、7~15、4~7、2~4 和 0~2 mg/kg; 黄淮海平原区第1~3和4~11级土壤有效磷丰缺指标依次为 >13、4~13、1~4 和 0~1 mg/kg。当紫花苜蓿干草目标产量为 15 t/hm<sup>2</sup>时, 第1~11级土壤的适宜施磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 量依次为 0、45、90、135、180、225、270、315、360、405 和 450 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 测土施肥; 紫花苜蓿; 土壤有效磷; 养分丰缺指标; 施肥量

**中图分类号:** S153.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-6257 (2016) 03-0030-07

土壤养分丰缺指标法是世界各国广泛应用的标准测土施肥方法。英国 ADAS 系统、德国 LUFA 系统都已有数十年历史, 美国各州都有自己的作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统<sup>[1]</sup>。我国于 20 世纪 80 年代开始开展土壤养分丰缺指标的系统研究, 目前已经建立了一些重要作物的土壤养分丰缺指标推荐施肥系统<sup>[1]</sup>, 但针对作为牧草之王的紫花苜蓿土壤养分丰缺指标与推荐施肥量的研究尚少且多为初步研究。仅蔺蕊等<sup>[2]</sup>、谢勇等<sup>[3-4]</sup>、邵光武等<sup>[5]</sup>采用盆栽试验法对新疆昌吉、河北坝上和河北黄骅的紫花苜蓿土壤养分丰缺指标进行了初步探讨。由于我国的紫花苜蓿土壤养分丰缺指标推荐施肥系统尚未建立起来, 种植企业只得以外某些地区的紫花苜蓿土壤养分丰缺指标为依据, 或者参考国内其它作物的土壤养分丰缺指标, 确定紫花苜蓿的施肥量。显然, 如此确定施肥量

较为盲目, 风险较大。我国紫花苜蓿生产 90% 以上集中于北方。栽培草种区划将北方划分为东北平原区、内蒙古高原区、西北荒漠绿洲区、黄土高原区和黄淮海平原区等五大自然区域。对于共生固氮能力强大的紫花苜蓿而言, 磷通常为肥料第一要素。本研究旨在初步建立我国北方五大自然区域紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标, 确定不同丰缺级别土壤的适宜施磷量, 为该区域紫花苜蓿磷肥施用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤养分丰缺指标

#### 1.1.1 数据来源

利用中国知网、万方数据、维普期刊等数据库资源, 搜集我国北方各地开展的紫花苜蓿施肥试验文献, 从中提取土壤有效磷 (Olsen-P) 含量、缺磷处理产草量和全肥处理产草量数据。

#### 1.1.2 计算缺素处理相对产量

缺素处理相对产量计算公式如式 (1) 所示。

$$\text{缺素处理相对产量} = \frac{\text{缺素处理产草量}}{\text{全肥处理产草量}} \quad (1)$$

#### 1.1.3 建立土壤有效养分含量与缺素处理相对产量回归方程

利用 Excel 表, 制作土壤有效磷含量与相应的

收稿日期: 2015-03-16; 最后修订日期: 2015-04-12

基金项目: 科技部科技支撑项目“优质牧草资源开发与多元化草产品加工利用关键技术研究”(2012BAD17B02); 农业部公益性行业项目“苜蓿高效种植技术研究与示范”(201403048); 国家现代农业产业技术体系建设项目“现代牧草产业技术体系建设”(CARS-35)。

作者简介: 孙洪仁 (1965-), 男, 吉林怀德人, 硕士, 副教授, 研究方向为牧草水肥管理。同时为通讯作者, E-mail: sunhongren@cau.edu.cn。

缺磷处理相对产量散点图, 绘制趋势线, 建立回归方程。

#### 1.1.4 选取土壤有效养分丰缺分级方案

采用测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案<sup>[1]</sup>, 即均等化各丰缺级别的缺素处理相对产量跨度为 10%, 以 95% 作为最高丰缺级别的缺素处理相对产量下限, 第 1~11 级的缺素处理相对产量范围依次为  $\geq 95\%$ 、85%~95%、75%~85%、65%~75%、55%~65%、45%~55%、35%~45%、25%~35%、15%~25%、5%~15% 和  $< 5\%$ 。

#### 1.1.5 确定土壤有效养分丰缺指标

将土壤有效养分丰缺分级方案中, 第 1~11 级的缺素处理相对产量的起讫点数值 95%、85%、75%、65%、55%、45%、35%、25%、15% 和 5%, 分别代入本研究建立的土壤有效磷含量与缺磷处理相对产量回归方程, 计算土壤有效磷含量, 所得数值即为第 1~11 级土壤有效磷丰缺指标的起讫点。

### 1.2 推荐施磷量

#### 1.2.1 计算公式

采用“养分平衡—地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式<sup>[6]</sup> [式 (2)] 和“土壤养分丰缺指标法”不同丰缺级别土壤适宜施肥量检索表<sup>[7]</sup>, 确定不同丰缺级别土壤的适宜施肥量。

$$\text{适宜施用磷量} = \frac{\left(1 - \frac{\text{缺素处理相对产量}}{\text{目标产量作物移出磷量}}\right) \times \text{目标产量作物移出磷量}}{\text{养分当季利用率}} \quad (2)$$

#### 1.2.2 确定缺素处理相对产量

选取各丰缺级别的缺素处理相对产量上限和下限之平均值作为该级别的缺素处理相对产量, 第 1~11 级依次确定为 100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10% 和 0%。

#### 1.2.3 确定目标产量

将全肥处理产草量 (干草, 含水量 14%) 作为紫花苜蓿目标产量。东北平原区和内蒙古高原区目标产量范围皆为 9~18 t/hm<sup>2</sup>, 根据生产实践需要, 确定 4 个具体目标产量, 分别为 9、12、15 和 18 t/hm<sup>2</sup>。西北荒漠绿洲区目标产量范围为 12~27 t/hm<sup>2</sup>, 确定 5 个具体目标产量, 分别为 12、15、18、22.5 和 27 t/hm<sup>2</sup>。黄土高原区和黄淮海平原区目标产量范围皆为 12~22.5 t/hm<sup>2</sup>, 确定 4 个具体目标产量, 分别为 12、15、18 和 22.5 t/hm<sup>2</sup>。

#### 1.2.4 确定单位经济产量作物移出养分量

单位经济产量 (干草, 含水量 14%) 紫花苜

蓿移出磷量 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 确定为 6 kg/t<sup>[8-9]</sup>。

#### 1.2.5 确定目标产量作物移出养分量

9、12、15、18、22.5 和 27 t/hm<sup>2</sup> 等 6 个具体目标产量紫花苜蓿移出磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 量依次为 54、72、90、108、135 和 162 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 1.2.6 确定养分当季利用率

就我国而言, 当施肥制度较为合理时, 包括紫花苜蓿在内的各种作物的磷肥当季利用率大体上在 10%~30% 之间<sup>[7,10]</sup>, 本研究确定磷肥当季利用率为 20%。

## 2 结果与分析

### 2.1 东北平原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量

搜集到东北平原区紫花苜蓿施磷试验论文十余篇, 提取出配套的“土壤有效磷含量”、“缺磷处理产量”和“全肥处理产量”田间试验数据 5 组<sup>[11-15]</sup>, 据之建立“缺磷处理相对产量” (y) 与“土壤有效磷含量” (x) 之间的回归方程如式 (3) 所示。

$$y = 15.33 \ln(x) + 45.58 \quad (R^2 = 0.919, n = 5, P < 0.01) \quad (3)$$

式 (3) 中“土壤有效磷含量” (x) 试验数据范围为 2.4~37.8 mg/kg, “缺素处理相对产量” (y) 试验数据范围为 56.9%~104.3%。

将在试验数据范围内及邻近缺素处理相对产量分级参数 95%、85%、75%、65% 和 55% 分别代入式 (3), 求得第 1~5 和 6~11 级土壤有效磷含量范围依次为  $> 25.1$ 、13.1~25.1、6.8~13.1、3.6~6.8、1.9~3.6 和 0~1.9 mg/kg。

将第 1~5 和 6~11 级缺素处理相对产量 100%、90%、80%、70%、60% 和 0%~50%, 东北平原区 4 个目标产量紫花苜蓿移出磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 量 54、72、90 和 108 kg/hm<sup>2</sup>, 以及磷肥当季利用率 20%, 代入式 (2), 计算第 1~5 和 6~11 级土壤、4 个目标产量情形下的适宜施磷量, 结果如表 1 所示。

### 2.2 内蒙古高原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量

搜集到内蒙古高原区紫花苜蓿施磷试验论文近 10 篇, 提取出配套的“土壤有效磷含量”、“缺磷处理产量”和“全肥处理产量”田间和盆栽试验数据 10 组<sup>[4,10,16-19]</sup>, 据之建立“缺磷处理相对产量” (y) 与“土壤有效磷含量” (x) 之间的回归方程如式 (4) 所示。

表1 东北平原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量

级别	6~11	5	4	3	2	1
缺磷处理相对产量 (%)	0~55	55~65	65~75	75~85	85~95	>95
土壤有效磷含量 (mg/kg)	0~2	2~4	4~7	7~14	14~26	>26
	适宜施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )					
目标产量 (t/hm <sup>2</sup> )	9	135~270	108	81	54	27
	12	180~360	144	108	72	36
	15	225~450	180	135	90	45
	18	270~540	216	162	108	54

$$y = 18.05 \ln(x) + 35.29 \quad (R^2 = 0.898, n = 8, P < 0.01) \quad (4)$$

式(4)中“土壤有效养分含量”(x)试验数据范围为0.2~26.4 mg/kg,“缺素处理相对产量”(y)试验数据范围为11.2%~100.0%。

将在试验数据范围内及邻近缺素处理相对产量分级参数95%、85%、75%、65%、55%、45%、35%、25%、15%和5%分别代入式(4),求得第1~11级土壤有效磷含量范围依次为>27.3、15.7~27.3、9.0~

15.7、5.2~9.0、3.0~5.2、1.7~3.0、1.0~1.7、0.6~1.0、0.3~0.6、0.2~0.3和0~0.2 mg/kg。

将第1~11级缺素处理相对产量100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%和0%,内蒙古高原区4个目标产量紫花苜蓿移出磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)量54、72、90和108 kg/hm<sup>2</sup>,以及磷肥当季利用率20%,代入式(2),计算第1~11级土壤、4个目标产量情形下的适宜施磷量,结果如表2所示。

表2 内蒙古高原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量

级别	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
缺磷处理相对产量 (%)	0~5	5~15	15~25	25~35	35~45	45~55	55~65	65~75	75~85	85~95	>95
土壤有效磷含量 (mg/kg)	0~0.2	0.2~0.3	0.3~0.6	0.6~1.0	1.0~1.7	1.7~3.0	3.0~5.2	5.2~9	9~16	16~28	>28
	适宜施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )										
目标产量 (t/hm <sup>2</sup> )	9	270	243	216	189	162	135	108	81	54	27
	12	360	324	288	252	216	180	144	108	72	36
	15	450	405	360	315	270	225	180	135	90	45
	18	540	486	432	378	324	270	216	162	108	54

### 2.3 西北荒漠绿洲区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量

搜集到西北荒漠绿洲区紫花苜蓿施磷试验论文近10篇,提取出配套的“土壤有效磷含量”、“缺磷处理产量”和“全肥处理产量”田间和盆栽试验数据10组<sup>[2,20-25]</sup>,据之建立“缺磷处理相对产量”(y)与“土壤有效磷含量”(x)之间的回归方程如式(5)所示。

$$y = 19.21 \ln(x) + 38.27 \quad (R^2 = 0.628, n = 8, P < 0.05) \quad (5)$$

式(5)中“土壤有效养分含量”(x)试验数据范围为2.4~18 mg/kg,“缺素处理相对产量”(y)试验数据范围为64.2%~96.7%。

将在试验数据范围内及邻近缺素处理相对产量分级参数95%、85%、75%、65%和55%分别代入式(5),求得第1~5和6~11级土壤有效磷含量范围依次为>19.2、11.4~19.2、6.8~11.4、4.0~6.8、2.4~4.0和0~2.4 mg/kg。

将第1~5和6~11级缺素处理相对产量100%、90%、80%、70%、60%和0%~50%,西北荒漠绿洲区5个目标产量紫花苜蓿移出磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)量72、90、108、135和162 kg/hm<sup>2</sup>,以及磷肥当季利用率20%,代入式(2),计算第1~5和6~11级土壤、5个目标产量情形下的适宜施磷量,结果如表3所示。

表3 西北荒漠绿洲区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量

级别		6~11	5	4	3	2	1
缺磷处理相对产量 (%)		0~55	55~65	65~75	75~85	85~95	>95
土壤有效磷含量 (mg/kg)		0~2.4	2.4~4	4~7	7~12	12~20	>20
		适宜施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )					
目标产量 (t/hm <sup>2</sup> )	12	180~360	144	108	72	36	0
	15	225~450	180	135	90	45	0
	18	270~540	216	162	108	54	0
	22.5	338~675	270	203	135	68	0
	27	405~810	324	243	162	81	0

2.4 黄土高原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量

搜集到黄土高原区紫花苜蓿施磷试验论文近10篇,提取出配套的“土壤有效磷含量”、“缺磷处理产量”和“全肥处理产量”田间试验数据10组<sup>[26-31]</sup>,据之建立“缺磷处理相对产量”(y)与“土壤有效磷含量”(x)之间的回归方程如式(6)所示。

$$y = 14.04 \ln(x) + 47.74 \quad (R^2 = 0.764, n = 9, P < 0.01) \quad (6)$$

式(6)中“土壤有效养分含量”(x)试验数据范围为2.6~34.1 mg/kg,“缺素处理相对产量”

(y)试验数据范围为57.2%~100.0%。

将在试验数据范围内及邻近缺素处理相对产量分级参数95%、85%、75%、65%和55%分别代入式(6),求得第1~5和6~11级土壤有效磷含量范围依次为>29.0、14.2~29.0、7.0~14.2、3.4~7.0、1.7~3.4和0~1.7 mg/kg。

将第1~5和6~11级缺素处理相对产量100%、90%、80%、70%、60%和0%~50%,黄土高原区4个目标产量紫花苜蓿移出磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)量72、90、108和135 kg/hm<sup>2</sup>,以及磷肥当季利用率20%,代入式(2),计算第1~5和6~11级土壤、4个目标产量情形下的适宜施磷量,结果如表4所示。

表4 黄土高原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量

级别		6~11	5	4	3	2	1
缺磷处理相对产量 (%)		0~55	55~65	65~75	75~85	85~95	>95
土壤有效磷含量 (mg/kg)		0~2	2~4	4~7	7~15	15~29	>29
		适宜施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )					
目标产量 (t/hm <sup>2</sup> )	12	180~360	144	108	72	36	0
	15	225~450	180	135	90	45	0
	18	270~540	216	162	108	54	0
	22.5	338~675	270	203	135	68	0

2.5 黄淮海平原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与推荐施磷量

搜集到黄淮海平原区紫花苜蓿施磷试验论文10余篇,提取出配套的“土壤有效磷含量”、“缺磷处理产量”和“全肥处理产量”田间试验数据9组<sup>[32-39]</sup>、盆栽试验数据11组<sup>[5]</sup>。盆栽试验数据与田间试验数据契合度不佳,不予采用。利用田间试验数据建立“缺磷处理相对产量”(y)与“土壤有效磷含量”(x)之间的回归方程如式(7)所示。

$$y = 7.92 \ln(x) + 74.78 \quad (R^2 = 0.508,$$

$$n = 7, P < 0.05) \quad (7)$$

式(7)中“土壤有效养分含量”(x)试验数据范围为2.7~10.9 mg/kg,“缺素处理相对产量”(y)试验数据范围为82.4%~95.4%。

将在试验数据范围内及邻近缺素处理相对产量分级参数95%、85%和75%分别代入式(7),求得第1~3和4~11级土壤有效磷含量范围依次为>12.8、3.6~12.8、1.0~3.6和0~1.0 mg/kg。

将第1~3和4~11级缺素处理相对产量100%、90%、80%和0%~70%,黄淮海平原区4个目标产



量紫花苜蓿移出磷 ( $P_2O_5$ ) 量 72、90、108 和 135  $kg/hm^2$ , 以及磷肥当季利用率 20%, 代入式 (2),

计算第 1~3 和 4~11 级土壤、4 个目标产量情形下的适宜施磷量, 结果如表 5 所示。

表 5 黄淮海平原区紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和适宜施磷量

级别	4~11	3	2	1
缺磷处理相对产量 (%)	0~75	75~85	85~95	>95
土壤有效磷含量 (mg/kg)	0~1	1~4	4~13	>13
	适宜施磷量 ( $kg/hm^2$ )			
目标产量 ( $t/hm^2$ )	12	72	36	0
	108~360	90	45	0
	15	90	45	0
	135~450	108	54	0
	18	108	54	0
	162~540	135	68	0
	22.5	135	68	0
	203~675			

### 3 讨论与结论

#### 3.1 土壤有效磷丰缺指标

20 世纪 80 年代农业部组织开展的 14 省 (市、自治区) 3 大作物土壤养分丰缺指标研究结果为, 土壤有效磷最高级别 (缺磷处理相对产量大于 95%) 指标下限为 7~25  $mg/kg$ <sup>[40]</sup>。21 世纪初张福锁等将全国三大作物土壤有效磷最高级别指标下限调整为 20~45  $mg/kg$ <sup>[41]</sup>。美国内布拉斯加州、犹他州、蒙大拿州、南达科他州、北达科他州、明尼苏达州、艾奥瓦州、加利福尼亚州、俄勒冈州、华盛顿州和爱达荷州紫花苜蓿土壤有效磷最高级别指标下限为 14~21  $mg/kg$ <sup>[42-52]</sup>。本研究所得中国北方紫花苜蓿土壤有效磷最高级别指标下限为 13~29  $mg/kg$ , 与上述研究结果存在差别, 但较为接近。

#### 3.2 推荐施磷量

美国各州紫花苜蓿最高推荐施磷量大多为 100~300  $kg$ , 本研究之第 4~6 级推荐施磷量与之相当。爱达荷州南部紫花苜蓿推荐施磷量为 470  $kg$ <sup>[52]</sup>, 本研究之第 9~11 级推荐施磷量与之接近。

#### 3.3 盆栽试验数据

学者们普遍认为, 盆栽试验数据不能用于土壤养分丰缺指标研究。本研究之黄淮海平原区 11 组盆栽试验数据<sup>[5]</sup>即因与田间试验数据<sup>[33-40]</sup>契合度不佳而无法采用。但内蒙古高原区和西北荒漠绿洲区各 5 组盆栽试验数据<sup>[2,4]</sup>却与所属区域田间试验数据<sup>[16-26]</sup>高度契合。分析上述 3 项盆栽研究, 主要差别有: 一是黄淮海平原区为半湿润地区, 试验期间降雨量大, 未设防雨棚, 土壤养分淋失量较

大; 内蒙古高原区和西北荒漠绿洲区为干旱和荒漠地区, 试验期间降雨量小, 未设防雨棚, 土壤养分淋失量较小; 二是前者留苗密度偏大, 后者留苗密度适中。于是可以初步推断, 当试验方法较为合理时, 盆栽试验数据可以用于土壤养分丰缺指标研究。

#### 3.4 试验数据数量

学者们一致认为, 土壤养分丰缺指标研究试验点数需要 20 个以上<sup>[53-57]</sup>。假定每个丰缺级别拥有 3 个以上试验点较为理想, 则划分出 5、6、7、8、9、10 和 11 个丰缺级别时, 分别至少需要 15、18、21、24、27、30 和 33 个试验点。本研究试验点数明显不足, 所得回归方程和丰缺指标尚存在完善空间。为了让我国北方紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标体系成熟起来, 业界同仁尚需大力开展施磷试验研究。

#### 参考文献:

- [1] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. 测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014, (10 上): 1-5.
- [2] 蔺蕊, 蒋平安, 周抑强, 等. 苜蓿土壤氮磷钾丰缺指标初步研究 [J]. 新疆农业大学学报, 2004, 27 (1): 23-28.
- [3] 谢勇, 孙洪仁, 张新全, 等. 坝上地区紫花苜蓿土壤铁、锰和锌丰缺指标初步研究 [J]. 草业与畜牧, 2010, (10): 6-11.
- [4] 谢勇, 孙洪仁, 张新全, 等. 坝上地区紫花苜蓿土壤有效磷、钾丰缺指标初探 [J]. 草业科学, 2011, 28 (2): 231-235.
- [5] 邵光武, 刘治波, 孙洪仁, 等. 黄骅市紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标初步研究 [J]. 草业科学, 2012, 29 (12): 1805-1809.
- [6] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. “养分平衡—地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014,

- (4上): 1-4.
- [7] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. 测土施肥不同丰缺级别土壤的适宜施肥量 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014, (12上): 7-11.
- [8] 李新一, 孙洪仁, 马金星, 等. 主要优良饲草高产栽培技术手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010. 15-20.
- [9] Undersander D, Cosgrove D, Cullen E, et al. Alfalfa management guide [M]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 2011. 18.
- [10] 段玉, 曹卫东, 妥德宝, 等. 北方半干旱区紫花苜蓿适宜品种选择及其合理施肥研究 [J]. 内蒙古农业科技, 2010, (1): 52-53.
- [11] 石凤善. 紫花苜蓿施用磷肥试验初探 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 1993, (8): 14.
- [12] 杨恒山, 曹建敏, 李春龙, 等. 苜蓿施用磷、钾肥效应的研究 [J]. 草业科学, 2003, 20 (11): 19-22.
- [13] 柴凤久, 许金玲, 李红, 等. 紫花苜蓿施肥试验研究 [J]. 中国草地, 2004, 26 (2): 80-81.
- [14] 付立东, 王宇, 展广军, 等. 滨海地区盐渍型水稻土紫花苜蓿高产栽培技术研究 [J]. 辽宁农业科学, 2006, (3): 15-17.
- [15] 朱广石. 施肥对越冬之星苜蓿干草产量的影响 [J]. 现代化农业, 2006, (6): 13.
- [16] 吴建新. 施肥对草原3号杂花苜蓿生产性能的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [17] 王泽环. 不同磷水平对黄花苜蓿产量和品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2008.
- [18] 谢勇, 孙洪仁, 张新全, 等. 坝上地区紫花苜蓿氮、磷、钾肥料效应与推荐施肥量 [J]. 中国草地学报, 2012, 34 (2): 52-57.
- [19] 赵云, 谢开云, 杨秀芳, 等. 氮磷钾配比施肥对敖汉苜蓿产量和品质的影响 [J]. 草业科学, 2013, 30 (5): 723-727.
- [20] 马孝慧, 阿不来提·阿不都热依木, 孙宗玖, 等. 氮、磷、钾、硫肥对紫花苜蓿产量和品质影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28 (1): 18-21.
- [21] 马孝慧, 阿不来提·阿不都热依木, 孙宗玖, 等. 不同时期施肥对苜蓿产量与品质的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28 (4): 33-35.
- [22] 阿不来提, 马孝慧, 赵清, 等. 配合施肥对新牧一号苜蓿产量和品质的影响 [J]. 草原与草坪, 2006, 26 (1): 64-66.
- [23] 李荣霞, 艾尔肯, 周抑强, 等. 不同施肥水平与养分组合对紫花苜蓿产草量的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2006, 29 (1): 44-46.
- [24] 王红梅, 孙启忠. 不同施肥水平与密度对苜蓿产草量的影响 [A]. 中国草学会青年工作委员会, 中国草业青年学术研讨会 [C]. 上海: 中国草学会青年工作委员会, 2009. 720-726.
- [25] 陈萍, 沈振荣, 迟海峰, 等. 不同施肥处理对紫花苜蓿产量和株高的影响 [J]. 草业与畜牧, 2013, (2): 8-11.
- [26] 郝明德, 张春霞, 魏孝荣, 等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响 [J]. 草地学报, 2004, 12 (3): 195-198.
- [27] 万素梅. 不同施肥水平苜蓿生产性能研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- [28] 温洋. 磷钾营养对紫花苜蓿产量和品质的影响及相关机理研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.
- [29] 王峰, 温学飞, 马明, 等. 宁夏扬黄灌区最优混合施肥对苜蓿鲜草产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (5): 50-54.
- [30] 韩清芳, 周芳, 王珺, 等. 施肥对不同品种苜蓿生产力及土壤肥力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (6): 1413-1418.
- [31] 刘艳楠, 刘晓静, 张晓磊, 等. 施肥与刈割对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响 [J]. 草原与草坪, 2013, 33 (3): 69-73, 77.
- [32] 温鹏. 氮、磷、钾、硫配比施肥对紫花苜蓿产量和质量的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [33] 王秀领, 徐玉鹏, 李桂荣, 等. 不同施肥处理对紫花苜蓿鲜草产量的影响 [J]. 四川草原, 2004, (8): 24-26.
- [34] 温洋, 金继运, 黄绍文, 等. 不同磷水平对紫花苜蓿产量和品质的影响 [J]. 土壤肥料, 2005, (2): 21-24.
- [35] 章杏杏, 刘贵河, 王堃, 等. 施肥对紫花苜蓿草产量及经济效益研究 [J]. 河北北方学院学报 (自然科学版), 2005, 21 (2): 42-45.
- [36] 胡华锋, 肖金帅, 郭孝, 等. 氮磷钾配施对黄河滩区紫花苜蓿产量和品质的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2009, 35 (2): 178-180, 188.
- [37] 胡华锋, 杨建平, 介小磊, 等. 氮磷钾配施对紫花苜蓿饲草产量及微量元素营养的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2010, 33 (1): 17-20.
- [38] 朱华敏. 施肥对紫花苜蓿生产性能和营养品质的影响 [D]. 青岛: 青岛农业大学, 2013.
- [39] 侯湃, 刘自学, 刘艺杉, 等. 北京平原区紫花苜蓿施肥组合试验 [J]. 草业科学, 2014, 31 (1): 144-149.
- [40] 黄德明. 我国农田土壤养分肥力状况及丰缺指标 [J]. 华北农学报, 1988, 3 (2): 46-53.
- [41] 张福锁, 陈新平, 陈清. 中国主要作物施肥指南 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009. 6-158.
- [42] Tarkalson D D, Shapiro C A. Fertilizer management for alfalfa [R]. Lincoln, Nebraska, USA: University of Nebraska - Lincoln Extension, G1598 (Revised), 2005.
- [43] Koenig R, Hurst C, Barnhill J, et al. Fertilizer management for alfalfa [R]. Logan, Utah, USA: Utah State University Cooperative Extension, AG-FG-01, 1999.
- [44] Jacobsen J, Jackson G, Jones C. Fertilizer guidelines for Montana crops [R]. Bozeman, Montana, USA: Montana State University Extension Service, EB161, 2003.
- [45] Gerwing J, Gelderman R. South Dakota fertilizer recommendation guide [R]. Brookings, South Dakota, USA: South Dakota State University Cooperative Extension Service, EC750 (Revised), 2005.
- [46] Franzen D W. North Dakota fertilizer recommendation tables and equations [R]. Fargo, North Dakota, USA: North Dakota State University Extension Service, SF-882 (Revised), 2010.

- [47] Kaiser D E, Lamb J A, Eliason R. Fertilizing alfalfa in Minnesota [R]. St. Paul, Minnesota, USA: University of Minnesota Extension, AG-FO-03814-C (Revised), 2011.
- [48] Mallarino A P, Sawyer J E, Barnhart S K. A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa [R]. Iowa, USA: Iowa State University Extension and Outreach, PM1688 (Revised), 2013.
- [49] Meyer R D, Marcum D B, Orloff S B, et al. Alfalfa fertilization strategies [R]. Oakland, California, USA: University of California, ANR publication 8292, 2007.
- [50] Gardner E H, McGuiire W S, Jackson T L. Fertilizer guide for alfalfa in southwest Oregon [R]. Corvallis, Oregon, USA: Oregon State University Extension Service, FG60 (Revised), 2000.
- [51] Koenig R T, Homeck D, Platt T, et al. Nutrient management guide for dryland and irrigated alfalfa in the Inland Northwest [R]. Pullman, Washington: Pacific Northwest Extension, PNW0611, 2009.
- [52] Stark J, Brown B, Shewmaker G. Southern Idaho fertilizer guide for irrigated alfalfa [R]. Moscow, Idaho: University of Idaho Extension, CIS1102, 2002.
- [53] 周鸣铮. 土壤肥力测定与测土施肥 [M]. 北京: 农业出版社, 1988. 89-95.
- [54] 金耀青, 张中原. 配方施肥方法及其应用 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993. 43-49.
- [55] 黄德明. 作物营养和科学施肥 [M]. 北京: 农业出版社, 1993. 207-215.
- [56] 谭金芳, 张自立, 邱慧珍, 等. 作物施肥原理与技术 (第2版) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011. 55-61.
- [57] 张福锁, 江荣风, 陈新平, 等. 测土配方施肥技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011. 77-91.

### Preliminary study on abundance-deficiency index of soil available P and appropriate phosphorus application rates for alfalfa in the North of China

SUN Hong-ren\*, CAO Ying, LIU Lin, WU Ya-na, YANG Xiao-jie, ZHAO Ya-qing (Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100193)

**Abstract:** The purposes of this study were to preliminary built-up the abundance-deficiency index (ADI) of soil available P (Olsen-P) (SAP) and determine the appropriate phosphorus application rates (APAR) of different available P abundance-deficiency level soil for alfalfa in the North of China. The method of regression equation between soil available nutrient content and relative yield of the treatment with complete nutrients except one, the improved scheme for the grading of soil available nutrients abundance-deficiency, and the new applied formula based on “nutrient balance and projected yield minus soil fertility yield” for determining the appropriate fertilizer application rates were employed. The results showed that the ADI of SAP in the Northeast Plain of China for the first to fifth and the 6~11<sup>th</sup> level were >26, 14~26, 7~14, 4~7, 2~4 and 0~2 mg/kg, respectively. The ADI of SAP in the Inner Mongolia Plateau of China for the first to eleventh level were >28, 16~28, 9~16, 5.2~9, 3.0~5.2, 1.7~3.0, 1.0~1.7, 0.6~1.0, 0.3~0.6, 0.2~0.3 and 0~0.2 mg/kg, respectively. The ADI of SAP in the Northwest Oasis of China for the first to fifth and the 6~11<sup>th</sup> level were >20, 12~20, 7~12, 4~7, 2.4~4 and 0~2.4 mg/kg, respectively. The ADI of SAP in the Loess Plateau of China for the first to fifth and the 6~11<sup>th</sup> level were >29, 15~29, 7~15, 4~7, 2~4 and 0~2 mg/kg, respectively. The ADI of SAP in the Huanghuaihai Plain of China for the first to third and the 4~11<sup>th</sup> level were >13, 4~13, 1~4 and 0~1 mg/kg, respectively. When the projected yield of alfalfa hay is 15 t/hm<sup>2</sup>, the APAR for the first to eleventh level soil are 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360, 405 and 450 kg/hm<sup>2</sup>, respectively.

**Key words:** soil testing and fertilizer recommendation; alfalfa; soil available P; nutrient abundance-deficiency index; fertilizer application rate