

黄淮海平原土壤碱化度计算方法探讨*

万洪富 杨劲松 俞仁培

(中国科学院南京土壤研究所)

摘要

用土壤碱化度(ESP)的计算值代替测定值已为国际上普遍采用。本文以黄淮海平原为例,运用数理统计方法,建立了一种根据土壤的钠吸附比、残余碱度和pH值计算土壤碱化度的方法,可分别运用水土比为1:1、5:1的样品分析数据,计算其土壤的ESP值。

土壤碱化问题,已成为我国干旱和半干旱地区广泛存在的一种限制农业生产的土壤问题。鉴别土壤碱化程度的主要指标是土壤碱化度,即代换性钠百分率(Exchangeable Sodium Percentage,简称ESP)。传统的ESP是通过实验室测定土壤代换量(CEC)和代换性钠(NaX)后计算得到的。测定土壤代换性钠,需要钢瓶装CO₂气体和火焰光度计等,基层单位的土壤化验室因设备和条件所限往往难以完成,给鉴别、改良和利用碱化土壤带来困难。就是有条件的土壤分析室,也因测定土壤代换量和代换性钠的方法繁琐冗长,易产生误差^[1-4],十分不便。因此,国外一般都采用其他比较容易测得的指标如SAR(土壤溶液的钠吸附比)来计算ESP。我们认为,由于我国碱化土壤形成途径、类型与国外不尽相同,国内不同自然地区之间亦有差异,不宜简单地采用国外的ESP的计算公式。因此,本文以黄淮海平原为例,探索一种计算ESP的公式,供研究单位,特别是基层研究单位使用,以减轻土壤分析工作量,同时也为全国其他地区探索用有关指标计算ESP提供借鉴。

一、研究方法

(一)国外计算ESP的方法

研究证明,土壤代换性钠的状况可以用土壤溶液的钠吸附比[SAR = Na/√(Ca + Mg)/2]和Gapon 代换方程表达^[1]:

$$\begin{aligned} \text{ESR} &= \frac{\text{NaX}}{\text{CEC} - \text{NaX}} = \frac{[\text{NaX}]}{[\text{CaX} + \text{MgX}]} = \text{kg}' \frac{[\text{Na}^+]}{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2}} \\ &= \text{kg}' \text{SAR} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,ESR是代换性钠比,NaX,CaX和MgX分别代表代换性钠、钙和镁。kg'是Gapon代换常数,其值一般在0.010—0.015(m mol/L)^{-1/2}之间。美国盐土实验室对美国西部土样分析结果统计后认为,对大多数干旱、半干旱地区的土壤阳离子代换范围而言,kg'值一般为0.015(m mol/L)^{-1/2}^[5]。

* 本文蒙祝寿泉研究员审阅并提出意见,谨致谢意。

广泛采用的计算ESP的公式是：
$$ESP = \frac{100 \cdot \bar{ESR}}{1 + \bar{ESR}} = \frac{100 \cdot kg' \cdot \bar{SAR}}{1 + kg' \cdot \bar{SAR}} \quad (2)$$

后来的研究又认为^[6-8]，土壤盐分类型，粘粒含量，Ca/Mg比值，土壤含盐量及饱和含水率都能影响kg'值。因而有些研究者根据本地区情况修改kg'值。

(二) 计算碱化度指标的选择及统计方法

虽然国外普遍采用SAR计算ESP，但黄淮海平原碱化土壤中ESP除了和SAR有很好的相关性外，和残余碱度 $[RA = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ 毫克当量/100克土]及pH值也有很好的相关性^[10,11]。因此，我们选择SAR、残余碱度和pH值作为计算ESP的指标。

统计方法则用多元回归进行筛选，以推导出更为合理的计算指标和公式。

(三) 统计数据的来源

为了讨论黄淮海平原土壤碱化度(ESP)和钠吸附比(SAR)、残余碱度及pH值之间的关系，以便推导出计算土壤碱化度(ESP)的指标和公式，必须要有足够数量的、能代表黄淮海平原不同类型和碱化程度的碱化土壤的ESP，SAR，RA和pH等有关数据供统计之用。

考虑到我国现在计算土壤钠吸附比(SAR)和残余碱度依据有两种水土比(1:1和5:1)的分析结果，为了应用方便，应该探索和研究用这两种水土比的资料计算碱化度(ESP)的指标和公式。

水土比为1:1的资料来源：试样采自江苏省铜山，山东省禹城和河南省封丘，代表了该地区不同类型和不同碱化程度的土样共100组，采用水土比为1:1的浸提液，测定土壤的pH，可溶盐(Na⁺用火焰光度计法)，土壤代换量和代换性钠，计算出每个土样的SAR和RA值，结果列于表1。

水土比为5:1的资料来源：水土比为5:1的分析资料比较多，为了使统计资料更具代表性，我们广泛收集了66个不同地区、不同类型和碱化程度的碱化土壤水土比为5:1的全盐、pH、SAR、RA等分析结果，其中可溶性Na⁺既有火焰光度计测定结果，也有部分计算值，统计数据列于表2。

然后对表1和表2的数据分别进行数理统计，以求出计算碱化度ESP的指标和公式。

二、结果和讨论

以前的研究证明，黄淮海平原土壤碱化度(ESP)和钠吸附比(SAR)、残余碱度(RA)和pH值相关性较显著。我们在探索黄淮海平原土壤碱化度计算公式时，把ESP作为因变量，钠吸附比(SAR)，残余碱度(RA)和pH值作为自变量，进行单个自变量的一元回归分析和多自变量的多元回归分析，并通过逐步回归方法进行筛选，把贡献大的指标引入计算方程，而舍弃没什么意义的指标，以提高预测的精度，减少模型的估计误差。

(一) 水土比为1:1时数据的统计结果

1. ESP和SAR、RA及pH的回归分析：

对表1中的100组数据的ESP和钠吸附比(SAR)，残余碱度(RA)及pH值等指标进行回归分析，结果列于表3。在计算残余碱度时，如果其值为负，统计时以零为其值参加统计。因为残余碱度是指土壤浸提液中碳酸根和重碳酸根浓度之和减去钙镁离子浓度之和，只能在正

* 我国过去发表的文章，残余碱度被称为残余碳酸钠。关于其意义，可参考文献[9]。

表1

土样的水土比为1:1的分析结果

土样号	RA cmol/L	ESP %	SAR	pH	土样号	RA cmol/L	ESP %	SAR	pH
1	.87	80.05	39.76	9.94	51	.02	3.20	2.80	8.66
2	.62	47.86	28.60	9.72	52	.05	3.53	3.10	8.59
3	.11	11.42	5.81	9.15	53	.04	5.05	3.49	8.93
4	.13	15.69	2.91	9.44	54	.03	5.21	3.47	8.99
5	.17	14.41	9.49	9.11	55	1.56	100.00	56.50	9.62
6	.22	14.56	8.40	9.18	56	.35	29.82	11.49	9.67
7	.17	9.61	5.40	9.02	47	.26	22.37	14.98	9.66
8	.11	5.55	4.85	8.83	58	.09	4.11	2.69	9.11
9	.14	8.59	5.37	8.98	59	.49	40.44	13.47	9.36
10	.20	9.42	6.80	9.20	60	.84	59.67	23.37	9.84
11	.21	8.38	4.93	9.10	61	0.49	60.77	34.16	9.43
12	.29	15.27	8.50	9.32	62	.22	41.86	24.10	9.15
13	.45	39.16	17.89	9.90	63	.68	45.66	33.84	9.84
14	.19	36.92	11.20	9.12	64	.25	23.02	12.59	9.10
15	.28	14.72	12.39	9.16	65	.29	26.78	20.40	9.30
16	.26	18.90	12.75	9.06	66	.38	28.42	15.44	9.39
17	.13	11.32	11.35	8.85	67	.11	31.17	21.48	9.14
18	.25	10.43	6.02	9.14	68	.37	31.25	13.98	9.76
19	.19	6.21	5.75	8.89	69	.57	44.90	13.63	8.06
20	.19	6.95	5.75	9.04	70	.48	28.54	11.95	8.72
21	.04	1.49	1.79	8.68	71	.73	36.48	16.80	9.12
22	.09	1.93	1.74	8.72	72	.78	33.61	23.98	9.69
23	.03	6.91	5.59	8.82	73	.83	21.43	14.36	9.29
24	.11	6.81	5.06	9.01	74	.41	24.88	22.33	9.13
25	.08	7.82	6.97	8.96	75	.83	36.71	18.72	9.55
26	.15	5.46	4.06	9.11	76	.45	33.04	12.21	9.33
27	.15	3.68	2.98	8.95	77	.33	27.73	10.53	9.26
28	.15	7.25	4.24	9.11	78	1.05	53.14	15.06	8.74
29	.06	2.56	2.02	8.83	79	.84	34.82	21.98	9.33
30	.07	2.30	2.12	8.86	80	.41	51.27	24.48	9.24
31	.03	2.35	1.68	8.91	81	.26	24.82	11.01	9.01
32	.53	50.06	28.85	9.73	82	.27	12.91	6.23	8.41
33	.30	28.21	19.45	9.40	83	.27	19.12	7.78	9.37
34	.19	14.06	13.40	9.05	84	.12	17.76	11.20	8.94
35	.49	41.80	12.67	9.58	85	.41	41.92	16.80	9.23
36	.42	36.76	17.89	9.51	86	.92	57.02	17.67	8.82
37	.31	15.41	11.50	9.24	87	.00	3.00	1.24	8.30
38	.09	3.76	3.82	8.50	88	.00	1.46	1.22	8.44
39	.19	8.20	4.70	9.03	89	.00	21.51	18.34	8.88
40	.24	14.47	4.75	9.28	90	.00	15.63	12.40	8.70
41	.22	19.45	7.00	9.42	91	.00	14.68	10.74	8.73
42	.04	2.14	1.56	8.66	92	.00	4.97	3.79	8.82
43	.11	4.34	2.87	8.93	93	.00	1.76	1.69	8.58
44	.10	3.00	2.85	8.89	94	.00	.09	.70	8.40
45	1.01	100.0	71.00	10.39	95	.00	8.62	10.04	8.77
46	.33	34.81	13.76	9.58	96	.00	20.37	26.40	8.77
47	.11	20.48	16.91	9.05	97	.00	3.06	3.05	8.42
48	.04	1.61	1.64	8.57	98	.00	1.16	1.70	8.45
49	.63	56.40	34.44	9.50	99	.00	6.00	4.99	8.46
50	.29	29.50	10.31	9.03	100	.00	3.18	2.10	8.46

表2

土样的水土比为5:1的分析结果

土样号	全盐 %	pH	SAR	RA cmol/L	ESP %	土样号	全盐 %	pH	SAR	RA cmol/L	ESP %
1	.31	9.86	19.04	1.83	61.40	34	.32	9.18	17.00	.14	29.90
2	.07	8.55	4.44	.25	4.05	35	.20	8.91	7.07	-.19	12.40
3	.25	9.63	15.70	1.17	42.30	36	.14	9.68	7.02	.22	22.30
4	.05	8.37	1.63	.10	3.30	37	.26	9.70	19.06	.68	40.90
5	.23	8.73	9.54	.21	12.70	38	.16	9.60	10.56	1.13	34.90
6	.43	8.00	5.46	-1.99	3.60	39	.07	9.15	3.88	.42	11.60
7	.23	8.85	16.57	.94	22.90	40	.09	9.28	5.98	.70	17.30
8	.09	8.33	1.72	-.18	2.10	41	.09	9.14	4.90	.48	13.60
9	.58	10.00	52.95	2.96	87.50	42	.09	8.80	5.37	.53	13.50
10	.23	9.80	17.21	1.06	36.30	43	.09	9.23	4.81	.62	17.80
11	.43	9.36	29.32	1.56	55.10	44	.08	9.17	5.55	.64	18.30
12	.19	8.57	9.72	-.35	9.90	45	.09	9.01	5.11	.54	13.40
13	.52	10.33	58.55	4.09	94.60	46	.14	9.28	8.35	.70	31.00
14	.37	10.36	38.70	2.80	64.60	47	.13	9.53	8.44	.79	37.80
15	.24	8.24	7.33	-.29	6.60	48	.19	9.15	14.15	.63	36.90
16	.38	10.10	34.53	2.98	67.40	49	.16	8.83	10.41	.56	16.90
17	.20	9.06	20.29	.69	21.00	50	.16	9.50	15.84	.99	35.60
18	.24	8.07	3.59	-1.15	3.20	51	.12	9.50	12.78	.97	38.80
19	1.03	7.52	4.39	-8.64	5.10	52	.07	8.60	6.40	.59	15.96
20	.27	7.95	6.78	-.28	6.70	53	.12	9.30	6.64	.57	21.50
21	1.35	7.80	5.01	-.98	5.10	54	4.26	7.35	18.98	-21.84	31.30
22	.33	8.00	3.71	-1.02	7.70	55	.67	8.50	5.54	-12.00	30.30
23	.09	9.50	9.17	1.18	35.60	56	.15	10.18	12.70	.70	39.23
24	.11	9.90	11.45	1.49	42.00	57	.09	9.50	9.17	1.18	35.60
25	.12	9.70	15.68	1.18	39.70	58	.11	9.90	11.45	1.49	42.00
26	.08	9.40	13.60	1.08	28.00	59	.12	9.70	15.68	1.18	39.70
27	.06	9.30	7.76	.70	27.00	60	.08	9.40	13.60	1.08	28.00
28	.16	9.00	8.12	.30	23.20	61	.08	8.36	6.27	.47	19.90
29	.06	9.00	2.36	.12	6.20	62	.08	9.04	3.93	.51	16.30
30	.05	8.00	1.79	.25	2.30	63	.09	9.19	4.38	.76	25.90
31	.15	7.60	3.49	-.19	6.00	64	.39	9.70	37.21	1.13	54.21
32	.10	9.20	9.52	.86	17.60	65	.14	9.70	13.11	.89	22.30
33	.10	9.30	10.61	.94	26.30	66	0.38	9.10	9.53	.74	10.04

值时才有意义。但是在自然界的土壤中确实存在钙镁离子之和大于碳酸根和重碳酸根之和的，而且在这种情况下仍然可能有碱化现象(即这种情况下 $ESP > 5$)，尤其在以中性盐为主要盐类的碱化土壤中。这种情况在黄淮海平原碱化土壤中亦不少见。所以统计时应包括这部分土样，但取残余碱度值时只能取最小值，即零。

从表3回归分析的结果可以看出，碱化度(ESP)和水土比为1:1的钠吸附比(SAR)，残余碱度(RA)及pH值都有一定的相关性。就单因子回归分析来说，ESP和SAR相关性最好($r=0.912$, $n=100$)，其次是RA($r=0.867$, $n=100$)，ESP和pH值虽有一定的相关性，但就明显差于其余两者($r=0.666$, $n=100$)。剩余标准差的变化趋势和相关性变化趋势一致，即相关性好者剩余标准差小。当引入两个自变量进行多元回归分析后，回归方程的回归结果和方程的估计效果均好于对应的一元回归分析，其中又以钠吸附比(SAR)和残余碱度(RA)两个自变量同时引入回归方程效果最好，其相关系数 $r=0.952$ ($n=100$)，并大幅度减小了作为衡量回归方程估计误差量的剩余标准差，其值为6.41。这样使回归方程计算碱化度的误差减

表3 ESP和水土比为1:1的SAR、RA及pH回归分析结果

(n = 100)

方程因变量	方程自变量	(复)相关系数 r	剩余标准差
碱化度 (ESP)	pH	0.666***	15.5
	残余碱度 (RA)	0.867***	10.3
	钠吸附比 (SAR)	0.912***	8.48
	pH, RA	0.885**	9.70
	pH, SAR	0.916***	8.37
	SAR, RA	0.952***	6.41
	SAR, RA, pH	0.952***	6.42

*** p<0.001

表4 ESP和水土比为5:1的SAR、RA及pH回归分析结果

(n = 66)

方程因变量	方程自变量	(复)相关系数 r	剩余标准差
碱化度 (ESP)	pH	0.754***	13.0
	残余碱度 (RA)	0.904***	8.49
	钠吸附比 (SAR)	0.886***	9.23
	pH, RA	0.912***	8.20
	pH, SAR	0.938***	6.93
	SAR, RA	0.931***	7.29
	SAR, RA, pH	0.946***	6.51

小。如果在SAR和RA的基础上再引入pH值，同时考虑这3项指标的多元回归分析结果，相关系数和剩余标准差几乎维持不变，相关系数 $r = 0.952$ ，剩余标准差为6.42。由于又多引入了一个自变量，增加了土壤分析的项目，因此，计算公式中就不考虑引入pH值，只采纳SAR和RA作为计算土壤碱化度的指标。

2. 土壤碱化度计算公式：

通过以上回归分析的结果，我们可以得出结论，当水土比为1:1时，ESP和钠吸附比(SAR)和残余碱度(RA)的多元回归分析推导出的回归方程计算土壤碱化度的效果最好，其方程是：

$$ESP = 0.47 + 1.08SAR + 29.2RA \quad (3) \quad (r = 0.952^{***}, n = 100)$$

应用方程(3)时，如果残余碱度(RA)为负值时，以零参予计算。

(二)水土比为5:1时数据的统计结果

1, ESP和SAR、RA及pH的回归分析：

将表2中水土比为5:1的66组数据的ESP和钠吸附比(SAR)、残余碱度及pH值等指标进行回归分析，数据处理方式和水土比为1:1的完全相同，结果列于表4。

从表4的回归分析结果看出，ESP和水土比5:1的SAR、RA、和pH也有较好的相关关系，但和水土比1:1的情况不同。就单因子回归分析而言，ESP和残余碱度相关性最好($r = 0.904$, $n = 66$)，其次是SAR($r = 0.886$, $n = 66$)，ESP和pH相关性也较水土比为1:1的高得多($r = 0.754$, $n = 66$)。剩余标准差的变化趋势和相关性变化趋势一致，即相关性好者剩余标准差小。当引入2个或3个自变量进行多元回归分析后，其结果和水土比为1:1的有所不同。两个自变量中以钠吸附比和pH及钠吸附比和RA两组自变量同时引入回归方程效果最好， r 分别为0.938、0.931，并大幅度地减小了剩余标准差。当引入SAR、RA和pH3个自变量时，其相关系数增加至0.946，剩余标准差减少至6.51，效果优于引入两个自变量。因此，水土比为5:1的计算公式就取SAR、RA和pH作为土壤碱化度的计算指标。

2. 土壤碱化度计算公式：

通过以上回归分析结果，可以得出以下结论，当水土比为5:1时，土壤碱化度和钠吸附比，残余碱度和pH值的多元回归分析推导出的回归方程计算土壤碱化度的效果最好，其方程是：

$$ESP = -55.5 + 7.25pH + 0.866SAR + 7.47RA \quad (4) \quad (r = 0.946^{***}, n = 66)$$

同样，应用此方程时，如果残余碱度为负值，以零参予计算。

(三)讨论

1. 残余碱度的重要作用：从上面计算碱化度的公式可以看出，残余碱度(RA)在其中起了很重要的作用，尤其是在水土比为5:1的计算公式中，RA的作用甚至大于SAR。过去的研究结果证明，土壤的碱化过程明显地受pH的影响，如果溶液是碱性的，土壤胶体从溶液中吸收的阳离子的数量比从中性盐溶液中吸收的多得多^[10]。而黄淮海平原的碱化土壤中，是以碱性盐为主，可溶盐中碳酸钠和重碳酸钠占60—80%以上，大大加速了土壤胶体对土壤溶液的Na⁺的吸附，促使了碱化土壤的形成和碱化度的增加。因此，在黄淮海平原的碱化土壤中，残余碱度(RA)和碱化度的相关关系有时甚至优于SAR和碱化度的相关关系。

2. 不同水土比计算指标的差异：水土比为5:1和1:1时，碱化度在计算指标和指标在计算公式中所起的作用有所不同。水土比为1:1时，只有SAR和RA为其计算指标，所起的作用SAR>RA。而水土比为5:1时，计算指标除SAR和RA外，又增加了pH，所起作用顺序是RA>SAR>pH。产生这种差别的原因是：(1) 水土比为5:1的资料来源较多，其中部分的Na的结果是差减法计算得出的，所以SAR结果不统一，也不够准确，降低了SAR的作用；(2) 水土比5:1的由于溶液较稀释，Na⁺相对于Ca²⁺和Mg²⁺的浓度比1:1的高，因此5:1的SAR较水土比1:1的高。从理论上讲，1:1更接近真实值，所以水土比5:1时SAR作用降至第二位。(3) 水土比为5:1时pH值容易测定，测定结果也准确些，所以在5:1水土比的计算公式中pH也起了一定作用。

3. 计算公式的精度问题：

首先，我们可以从多元回归方差分析看其精度。

表5和表6列出的方差分析结果可以看出，水土比为1:1和5:1的回归方程F检验都达到极显著水准。

表5 ESP和水土比1:1的SAR及RA
多元回归方差分析

方 差 来 源	自 由 度	平 方 和	均 平 方 和	F
回 归	2	38026	19013	463***
剩 余	97	3979	41.02	
总 和	99	42006		

*** 回归方程F检验极显著。

表6 ESP和水土比5:1的SAR、RA
和pH的多元回归方差分析

方 差 来 源	自 由 度	平 方 和	均 平 方 和	F
回 归	3	22598	7533	177.6***
剩 余	62	2630	42.4	
总 和	65	25228		

*** 回归方程F检验极显著。

另外，我们还可以和国外计算公式中ESP和SAR相关系数比较看出其精度。美国盐土实验室公式用的是59份土样，其相关系数为0.923，我们的土样分别是100和66个，相关系数分别为0.952和0.946，均优于国外值。

参 考 文 献

- [1] Bohn, H. L. et al., Soil Chemistry, Second Edition. P. 242-247, Spinger-Verlag, 1985.
- [2] Bower, C. A. et al, Soil Sci., 93: 275-280, 1962.
- [3] Okazaki, R. et al, Soil Sci. 93: 343-344, 1962.
- [4] Bresler. E. et al. Saline and Sodic Soils. P. 14-28. Spinger-Verlag 1982.
- [5] Shainberg. I. et al, Soil Salinity under Irrigation, P. 154-167, Spinger-Verlag, 1984.
- [6] Sayegh, A. H. et al, Soil Sci. 125: 294-300, 1978.
- [7] Sposito, G., Soil Sci. Sco. Am. J., 41: 1205-1206. 1977,
- [8] Oster, J. D. et al, Soil Sci. Am. J., 44: 258-260, 1980.

- [9] 万洪富, 灌溉水的碱害指标及其与土壤碱化的关系, 土壤学进展, 第3期, 1—10页, 1990。
 [10] 万洪富等, 黄淮海平原土壤碱化分级的初步研究, 土壤学报, 第20卷, 第2期, 129—139页, 1983。
 [11] 俞仁培等, 碱化土壤分级的探讨, 中国盐渍土分类论文集, 128—134页, 江苏科技出版社, 1988。

(上接第315页)

为代表), 磷酸氢二铵、尿素、硝酸钾、硝酸钠、硫酸铵和硝酸铵等为可利用的氮源(菌数测定以硝酸铵为代表); 草酸铵和氯化铵等为不能利用的氮源(菌数测定以草酸铵为代表)。

表2 具喙田菁茎瘤菌对不同氮源的利用概况 (1988)

编号	氮源种类	生长情况	菌落直径 (mm)	数量 (个/ml)	备注
1	硫酸铵	+	< 1	101×10^8	3天出现菌落
2	硝酸铵	++	1	660×10^7	3天出现菌落
3	硝酸钾	+	< 1	101×10^8	3天出现菌落
4	草酸铵	-	-	320×10^3	
5	谷氨酸钠	+++	1~2	248×10^{10}	2天出现菌落
9	尿素	+	< 1	101×10^8	3天出现菌落
7	酵母膏	+++	2	248×10^{10}	2天出现菌落
8	氯化铵	-	-	320×10^3	
9	蛋白胨	+++	1.5~2	248×10^{10}	2天出现菌落
10	硝酸钠	-	-	320×10^3	
11	磷酸氢二铵	++	1	660×10^7	3天出现菌落
12	无氮	-	-	-	

根据上述试验结果, 我们认为下列合成培养基较适合于具喙田菁茎瘤菌的需要:

甘油 5g; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 0.5g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2g; NaCl 0.1g; $CaCO_3$ 1.5g; 硼酸 20mg; 钼酸钠 20mg; 酵母膏 1g; 水 1000ml, 培养基的最终 pH 7.0。加琼脂粉 13g 即为固体培养基。

参 考 文 献

- [1] 姚惠琴、曹景勤、陈碧云, 具喙田菁茎瘤的固氮作用, 土壤, 第5期, 263页, 1986。
 [2] 殷永刚、委无忌, 毛茛田菁茎瘤形成和固氮活性的研究, 南京农业大学学报, 第2期, 63~67页, 1987。
 [3] 曹景勤, 一种有发展前途的豆科绿肥——具喙田菁, 农业科技通讯, 第5期, 31页, 1987。
 [4] A. H. Gibson et al, Current Perspective in Nitrogen Fixation, Australian Academy of Science Canberra, Australia P. 471. 1981.