

864-869

Vol. 19, No. 6
Nov., 1999第19卷第6期
1999年11月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICA

人参红皮病与土壤生态条件的关系

李志洪, 田淑珍, 孙艳君, 郭世伟, 刘兆荣

(吉林农业大学土化系, 长春 130118)

S 4 3 5-673

摘要: 采用生态样块方法, 研究了白浆土区不同地貌生态条件对人参红皮病的影响。结果表明, 床土中还原物质浓度随地貌类型而变化, 其中活性有机质与参根病情指数相关性最高, 成为人参红皮病发生的主要因素; 铁的富集是人参红皮病的主要特征, 锰为次要因素; 周皮铁主要为络合物, 包括活性亚铁、活性高铁和非活性铁, 它们相互转化, 视土壤水分状况为转移; Fe_0/Fe_d 与活性有机质相关显著, 表明无定形铁是锈斑铁的主要来源; 床土通气性高, 持水孔度也高, 表明床土中氧化过程和还原过程同时进行, 对促进土壤中~~铁~~的转化具有重要意义。

关键词: 人参红皮病; 活性还原物质; 周皮铁的形态; 土壤生态条件 白浆土区

Relationship between the genesis of ginseng rust spots and soil ecological conditions

LI Zhi-Hong, TIAN Shu-Zhen, SUN Yan-Jun, GUO Shi-Wei, LIU Zhao-Rong (Dept. of Soil Science and Agrochemistry, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: This paper deals with the ecological relationship between the condition of Ginseng rust spots, the reducing substances in the bed soil and the epidermis iron forms of Ginseng roots within the albic soil region of Jilin lava platform. The results showed that the concentration of reducing substances varied in different relief units. The active organic matter was markedly related to the illness index and become the major factor in the genesis of Ginseng rust spots. The enrichment of iron played the first important role in the epidermises of Ginseng roots. The epidermis iron was mainly composed of the organic complexing matter including active ferrous and ferric forms, and non-active ferric forms, and they were transformed into each other with the change of soil moisture and temperature regime. The Fe_0/Fe_d was related to the active organic matter, that implied that amorphous iron in the soil might be the major source of Ginseng epidermis iron. The capacity of air-filled pores was higher and the capacity of water-holding pores also higher in the bed soil. It suggested that the oxidation-reduction process in the soil to be tested happened at the same time, and it was of important significance for the transformation of iron in the bed soil.

Key words: rust spots of Ginseng; active reducing substances; forms of epidermis iron; soil ecological conditions

文章编号: 1000-0933(1999)05-0864-06 中图分类号: S567.5-1 文献标识码: A

人参红皮病特征是参根周皮呈现锈色斑块。初现期, 斑块仅见于主(侧)根的局部。随着参龄的增长锈斑逐渐扩展到主(侧)根的大部分。60年代初, 王韵秋首先指出, 人参红皮病是湿土条件下, 土壤中铁、锰离子在参根表面沉淀的结果, 属非传染性病害^[1]。随后, 王韵秋的观点得到国内著名植病专家周宗璜的肯定^[2]。80年代初张云成等总结了抚松, 靖宇等县一些参场人参红皮病防治的经验, 认为人参红皮病的发生与参地土壤有机质多, 分解不彻底, 土壤含水量高有关^[3]。武孔云指出, 人参根周皮铁、锰等多种无机元素的数量与锈斑等级呈显著相关^[4]。90年代初, 根据白浆土发生理论, 高金芳等^[5]指出, 人参红皮病是氧化还

基金项目: 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1997-09-25; 修订日期: 1999-02-20

原过程交替,铁、锰离子在参根表面沉淀的结果,认为床土水分过多是人参红皮病发生的主要矛盾,必须实行暗沟排水,才能使病害得到根治。上述情况表明,近几十年来,国内人参红皮病研究虽然取得一定进展,但多为推理论述,实际试验研究很多,多为病参-健参,病土-健土或锈斑等级间个别性质(如铁、锰)的简单对比,缺乏联系土壤生态的深入研究。本文以吉林省临江市白山参场不同地貌上人参栽培试验多年研究为根据,着重讨论人参红皮病与土壤生态条件的联系,为阐明人参红皮病的发生和制定防治措施提供依据。

1 试验条件与研究方法

试验地点位于吉林省临江市东北110km,年降雨量850mm,年平均气温4.7℃,地貌为平缓的熔岩台地,海拔870m,切割较明显,可分为岗地、平地 and 洼地等次级地貌类型,其中平地(微斜)面积较大。这些地貌对土壤类型和人参红皮病的发生有明显的影响。岗地相对高差1~2m或更高,土壤为普通白浆土,pH5.10~5.35,有机质69.9~110.8g/kg,土壤质地为壤粘土,地下水位3~3.5m。平地为滞水白浆土,pH4.65~4.70,有机质87.7~107.4g/kg,土壤质地为壤粘土,地下水位2.5~3m;洼地为深厚草甸土或潜育草甸土,pH5.20~5.40,有机质112.1~142.2g/kg,土壤质地为粘土,地下水位1.5~2.0m。

按着生态样块的研究方法,分别在不同地貌(岗、平、洼)上栽参(3年生参苗),经3a生长后,同时采土样和参样(6年生),样方面积为1~2m²。新鲜土样(密封,3次重复)用0.1M Al₂(SO₄)₃溶液提取,测定还原物质总量(total reducing substances, TRS),活性还原物质(active reducing substances, ARS),亚铁,活性有机质(Active O. M.),亚锰^[4]。土样风干后,测定游离铁(连二亚硫酸钠还原法)、无定形铁(草酸铵提取法)、络合铁(焦磷酸钠法);用0.1mol/L NaOH溶液处理土样,测定腐殖酸(HA+FA)和胡敏酸(HA),差算富里酸(FA)。按着土壤农化常规分析方法,测定pH,有机质以及其它项目。

采集样块全部参根(50~80支)作为一个混合样,调查参根病株数和锈斑面积,计算病情指数^①。然后洗净参根,用玻片刮皮,鲜皮样用6mol/L HCl溶液提取,测定活性铁,即活性亚铁和活性高铁^[7],风干样品用灼烧法测定全铁和全锰。

2 结果与讨论

2.1 床土还原物质与红皮病发生的关系

随着栽参森林植被的砍伐和地被物的消失,床土天然滞水状况不复存在。床土富含粗腐殖质,加之做床时混入半分解和未分解的有机物质多,因而床土活性有机质数量多,它们对固相表面氧化铁或液相中Fe³⁺的还原,对溶液中Fe²⁺浓度的维持和稳定床土EH(300mv左右,未列出),以及对有机络合物的形成,均起到积极的促进作用。表1指出,红皮参床土TRS(还原物质总量)一般在0.267~0.923cmol/kg之间,多数样点较白皮参床土高0.3~1.7倍,红皮参床土ARS(活性还原物质)在0.069~0.273cmol/kg,较白皮参床土高0.5~4.8倍,TRS和ARS均与病情指数呈极显著相关,r值分别为0.895**和0.977** (n=12),表明ARS对锈斑的形成起重要作用。床土ARS包括Fe²⁺和活性有机质,活性有机质为Fe²⁺的1.5~9.0倍,活性有机质和Fe²⁺与病情指数的相关系数(r)分别为0.979**和0.701*,溶液中Fe²⁺与病情指数的相关性不如活性有机质,显然与床土无稳定还原状态,Fe²⁺易于氧化,其浓度不稳定有关。

ARS的浓度首先取决于床土水分状况。岗地切割明显,地面排水迅速,床土水分靠侧渗补给,土壤经常保持较低的含水量,ARS的浓度为0.114~0.119cmol/kg,参根病情指数(6年生,下同)为0.170~0.282。平地地表排水较缓,床土水分也靠侧渗补给,土壤含水量经常保持较高,有机质丰富(87.7~107.4g/kg),土色发暗,ARS浓度多在0.168~0.269cmol/kg,参根病情指数在0.194~0.994。洼地不仅有毛管上升水补给,也定期得到地表水的补给(融雪期,雨季),土壤含水量经常处于田间持水量以上,有机质含量高(112.1~142.2g/kg),且腐殖质层厚(>18cm),参根病情指数在0.902~1.0之间(表1)。

人参红皮病是特定的地貌-土壤生态条件下综合作用的产物,其发病程度因地貌类型而异(表2)。无论

① 病情指数 = $\sum (\text{各级发病数} \times \text{各级代表值}) / (\text{调查总数} \times \text{最高级代表值})$, 其中0级为无病,1级为锈斑面积<10%, 2级为锈斑面积10%~25%,3级为锈斑面积25%~50%,4级为锈斑面积>50%。

岗地还是洼地,人参红皮病未对参根产量有明显的影 响,说明人参红皮病是在不同地貌条件下,人参生理

表 1 床土还原物质与铁的形态和参根周皮铁、锰态(mg/kg)及病情指数

Table 1 Composition of reducing substances and forms of iron in bed soil and forms of Fe and Mn in the epidermises of Ginseng roots and sickness index

项目 Item	田间号 Field number												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	河口
	平地	平地	岗地	洼地	平地	平地	平地	平地	洼地	岗地	岗地	洼地	坡地
	Flat		Mount	Depr-									Sloping
				ession									field
pH	4.85	4.80	5.10	5.40	6.80	4.65	4.75	4.15	5.20	5.358	5.21	5.38	5.60
还原物质总量 TRS (cmol/kg)	0.648	0.496	0.420	0.854	0.725	0.86	0.267	0.572	0.923	0.425	0.552	0.860	0.315
活性还原物质 ARS (cmol/kg)	0.168	0.069	0.119	0.273	0.218	0.269	0.139	0.129	0.270	0.114	0.118	0.263	0.047
亚铁 Fe ²⁺ (cmol/kg)	0.039	0.014	0.029	0.041	0.019	0.049	0.024	0.030	0.037	0.021	0.028	0.035	0.024
活性 O. M Active O. M	0.129	0.055	0.09	0.232	0.199	0.20	0.115	0.099	0.224	0.063	0.053	0.218	0.023
亚锰 Mn ²⁺	0.018	0.022	0.014	0.009	0.017	0.015	0.031	0.022	0.017	0.026	0.025	0.019	0.045
游离铁 Fe _a	9.2	8.6	8.3	9.3	9.4	8.6	8.8	8.6	10.4	8.5	9.1	9.5	—
无定形铁 Fe _o	1.5	1.3	1.2	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.6	1.1	1.3	1.5	—
晶质铁 Crystalline Fe (g/kg)	7.7	7.3	7.1	7.8	7.9	7.2	7.4	7.3	8.6	7.4	7.8	8.0	—
络合铁 Complex Fe	1.8	1.9	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	1.3	1.5	1.6	1.1	—
铁活化度 Fe _b /Fe _a	0.163	0.151	0.145	0.161	0.160	0.163	0.159	0.151	0.153	0.129	0.143	0.154	—
全铁 Total Fe	810	528	596	1260	877	1015	511	651	1120	759	688	1012	460
非活性铁 Nonactive Fe	453	287	274	774	408	493	236	268	470	300	309	438	212
活性铁 Active Fe	357	305	322	486	469	523	315	383	650	359	379	574	248
活性高铁 Active ferric Fe	165	162	162	188	205	218	150	180	345	186	174	277	212
活性亚铁 Active ferrous Fe	192	143	160	299	264	304	165	203	305	173	205	297	36.0
全锰 Total Mn	53	101	72	20.6	44.5	21.9	41.9	31.4	48.2	72.3	51.9	46.7	36.0
病情指数 Illness index	0.563	0.194	0.282	1.000	0.799	0.994	0.355	0.478	0.902	0.170	0.189	0.929	0

表 2 地貌-土壤生态条件和人参红皮病的关系

Table 2 The relationship between the relief soil ecological conditions and Ginseng rust spot

微地形 Micro-relief	岗地 Mound	平地 Flat	洼地 Depression
土壤类型 Soil type	普通白浆土	潴水白浆土	深厚草甸土
	Common albic soil	Perchic albic soil	Pachic meadow soil
相对高比	2.5	1.2—1.5	1
Ratio of relative height			
水分状况	侧向浸润	侧向浸润	周期性水饱和
Moisture regime	Lateral infiltration	Lateral infiltration	Periodically water saturated
活性还原物质			
Active reducing substances (cmol/kg)	0.114—0.119	0.168—0.269	0.263—0.273
发病特点	轻,慢	重,快	最重,很快
Characteristic of rust	Slightly, slowly	Heavily, fast	Most heavily, very fast
病情指数 Rust index	0.170—0.282	0.256—0.994	0.902—1.000

生化反应的结果。病情指数在平地与岗地、平地与洼地之间均达到 $p < 0.005$ 的差异显著水平(表 3),说明微生态条件对参根病情指数有较明显的影响。ARS 在平地与岗地、平地与洼地之间均达到 $p < 0.005$ 的差异显著水平,土壤 TRS 仅在平地与洼地之间达到 $p < 0.025$ 的差异显著水平,土壤 Fe²⁺ 在平地与岗地、平

地与洼之间均达到 $p < 0.25$ 的差异显著水平,说明生态样块对床土还原物质的影响是明显的。与 6 号样块相比,7、8 号样块是在栽参前铺砂 1~2cm 厚然后摆参;7 号样块为正常参,病情指数很低,8 号参根带有轻度锈斑,对比结果说明,局部参砂改土对调节床土水分,空气状况有较明显的效果。所以,砂改土区 ARS 显著减少,使病情指数下降,但仍高于 0.200,使参根失去加工红参的价值。1、2 号样块位于岗地阴坡,参床相邻排列,但 1 号床高 $< 18\text{cm}$,土壤含水量高,通气性差,参根病害重(表 3)。

表 3 各生态样地的成组比较分析检验

Table 3 Group comparison analysis between different ecological land blocks

项目	Item	岗地与平地 Mound vs flat	岗地与洼地 Depression vs flat
土壤 Soil			
还原物质总量 TRS		7.428	28.453 [*]
活性还原物质 ARS		709.180 ^{**}	188.500 ^{**}
亚铁 Fe^{2+}		8.956 [*]	18.232 [*]
活性 O. M Active O. M		8.967 [*]	66.587 ^{**}
亚锰 Mn^{2+}		1.361	1.163
游离铁 Fe_d		1.413	2.799
无定形铁 Fe_o		1.225	2.799
晶质铁 Crystalline Fe		1.652	2.321
络合铁 Complex Fe		12.799 [*]	9.600 [*]
铁活化度 Fe_o/Fe_d		2.486	1.608
人参 Ginseng			
全铁 Total Fe		9.354 [*]	8.487 [*]
非活性铁 Nonactive Fe		34.979 ^{**}	2.976
活性铁 Active Fe		8.999 [*]	1.117
活性高铁 Active ferric Fe		4.886	8.810 [*]
活性亚铁 Active ferrous Fe		6.943	214.833 ^{**}
全锰 Total Mn		5.610	3.184
病情指数 Illness index		23.834 ^{**}	33.415 ^{**}

*: $p < 0.025$ 差异显著; $p < 0.025$ sufficient different.

** : $p < 0.005$ 差异显著; $p < 0.005$ sufficient different.

铁是环境铁向参根周皮表面富集的起始形态。活性铁含量高,这是红皮参周皮铁分异的重要特征。例如,同为 6 年生参根,红皮参活性亚铁为 $143 \sim 304\text{mg/kg}$,而白皮参为 36mg/kg (表 1)。

周皮铁的 4 种形态(全铁,非活性铁,活性高铁,活性亚铁)与病情指数的相关程度都较高(表 4),均达到了极显著水平($r = 0.879^{**}, 0.792^{**}, 0.635^{*}, 0.940^{**}, n = 12$),其中,周皮全铁可作为人参红皮病的特征指标。床土 Mn^{2+} 与周皮活性亚铁呈负相关,而床土 Fe^{2+} 与周皮活性亚铁呈正相关,两者均为显著水平($r = -0.591^{*}, 0.672^{*}, n = 12$),这可能是床土中 $\text{Mn}^{2+} - \text{Mn}^{4+}$ 与 $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ 体系拮抗作用在锈斑形成上的反映。

统计结果(表 4)还表明,床土活性有机质与周皮活性亚铁极显著相关($r = 0.917^{**}, n = 12$),床土亚铁与周皮亚铁相关达到显著水平($r = 0.672^{*}, n = 12$),说明活性有机质对周皮活性亚铁的富集有重要影响。实验表明鲜样中的活性亚铁与 0.1% 邻啡罗啉溶液不起反应,但能同 α, α -联吡啶起反应,说明它不是无机亚铁离子,是络合常数较小的有机络合亚铁,可见参根周皮铁不是单一的无机氧化铁,而是有机-无机络合物,同时存在高铁和高铁两种形态,高铁是亚铁进一步氧化的产物。

2.3 床土中铁形态、有机质和通气性对人参红皮病的影响

为了弄清土壤铁的形态对人参红皮病的影响,测定了游离铁(Fe_d)、无定形铁(Fe_o)以及络合态铁的含量,差算晶质铁(表 1)。游离铁的含量表现出平、洼地高而岗地低的趋势,无定形铁也有相似的变化,因而

统计结果表明,床土中 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 化学行为不同,前者与病情指数呈正相关($r = 0.701^{*}, n = 12$),后者与病情指数呈负相关($r = -0.668^{*}, n = 12$)(见表 4)。表明床土中 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 在锈斑形成中存在拮抗作用,即前者促进人参红皮病的发生,而后者有抑制作用,这有别于前人研究的结果。 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 两者之所以有拮抗作用,与 $\text{Mn}^{2+} - \text{Mn}^{4+}$, $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ 两个体系 E_0 的差异有关^[8]。

2.2 参根周皮铁的形态及其分异规律

人参红皮病的特征是周皮铁含量高。表 1 看出红皮参全铁较白皮参高 0.2~1.7 倍,因地貌和参龄以及栽培措施而异。地势是决定参根发病程度的首要因素,洼地红皮病参全铁平均比岗地高出 66%,比平地高出 54% ($P < 0.005$)。随着参龄的增长,红皮病参全铁含量逐年增加^[6],4 年生、5 年生和 6 年生分别为 $482 \sim 867, 588 \sim 1104$ 和 $858 \sim 1159\text{mg/kg}$ 。

参根周皮铁的富集不仅是数量增加的过程,同时也是铁的形态相互转化的过程。把参皮鲜样能为 6M HCl 溶液提取的那一部分铁称为活性铁,它包括活性亚铁和活性高铁,并把全铁与活性铁之差称为非活性铁,活性铁、活性高铁和非活性铁是环境铁转变为周皮铁的 3 个月联系的环节。参根活性亚

Fe_0/Fe_d 比值也表现为在平、洼地大而岗地小,说明它们的形成与分配同土壤的水分状况有关,但平地与岗地、平地与洼之间未达到差异显著水平(表 3)。从相关统计看(表 4),土壤全铁与活性有机质无相关性^[9],但 Fe_0/Fe_d 与活性有机质显著相关($r=0.653^*$, $n=12$),说明无定形铁是周皮铁的重要来源。络合铁是床土中含水氧化铁与有机化合物相结合的组分,表现为洼地低而平、岗地高的分布趋势,平地与岗地、平地与洼地之间均达到 $p<0.025$ 的差异显著水平。床土中络合铁与周皮活性亚铁呈极显著负相关($r=-0.718^{**}$, $n=12$),络合铁与周皮其它形态铁以及病情指数呈负相关,说明土壤络合铁不是参根铁积累的来源。

表 4 床土活性组分与人参根皮铁锰形态及病情指数的相关系数¹⁾

Table 4 Correlation coefficients for active substances in bed soil, forms of Fe and Mn in the epidermises of Ginseng roots and sickness index

土壤 Soil	人参根皮 Epidermises of Ginseng roots						
	病情指数	全铁	非活性铁	活性铁	活性高铁	活性亚铁	全锰
	Illness index	Total Fe	Nonactive Fe	Active Fe	Active ferric Fe	Active ferrous Fe	Total Mn
还原物质总量 TSR	0.895**	0.906**	0.778**	0.899**	0.740**	0.931**	-0.509
活性还原物质 ARS	0.977**	0.917**	0.793*	0.891**	0.694*	0.960**	-0.704*
活性有机质 Active O. M	0.979**	0.871**	0.775*	0.851**	0.662*	0.917**	-0.657*
亚铁 Fe^{2+}	0.701*	0.683*	0.656*	0.564	0.370	0.672*	-0.706*
亚锰 Mn^{2+}	-0.668*	-0.694*	-0.768**	-0.471	-0.279	-0.591*	0.316
Fe_0/Fe_d	0.685*	0.372	0.510	0.321	0.112	0.474	-0.548
络合铁 Complex Fe	-0.683*	-0.694	-0.575	-0.659*	-0.505	-0.718**	0.400
有机质 O. M	0.621*	0.603*	0.486	0.757*	0.730**	0.687	-0.403
腐殖酸 HA+FA	0.815**	0.631*	0.607*	0.695*	0.597*	0.693*	-0.553
胡敏酸 HA	0.786**	0.528*	0.499	0.636*	0.556	0.628*	-0.480
富里酸 FA	0.702*	0.692*	0.682*	0.662*	0.547	0.684*	-0.581*
病情指数 Illness index	1.00	0.879**	0.792**	0.852**	0.635*	0.940**	-0.705*

*: 显著相关, $P<0.05$ sufficient level; **: 极显著相关, $P<0.01$ sufficient level。¹⁾河口参场数据未参加相关分析。

表 5 床土腐殖质组成和孔隙状况

Table 5 Composition of humus and conditions of pore space in bed soil

项目 Item	田间号 Field number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
腐殖质 Humus C(g/kg)	31.0	25.5	23.0	33.8	27.5	30.6	29.6	28.3	37.2	16.8	22.3	33.2
胡敏酸 H. A(g/kg)	18.0	16.5	13.4	19.4	16.2	19.6	17.9	18.0	22.2	8.9	10.6	20.7
富里酸 F. A(g/kg)	13.0	9.0	9.6	14.4	11.3	11.0	11.7	10.4	15.0	7.8	11.7	12.5
容重 Buck density (g/cm ³)	0.46	0.61	0.76	0.63	0.68	0.64	0.65	0.67	—	—	—	—
含水量 Moisture content(%)	61.99	49.55	42.93	73.99	56.59	58.53	53.57	52.24	—	—	—	—
总孔度 Soil porosity(%)	74.19	75.40	69.35	74.60	72.58	74.19	73.79	72.98	—	—	—	—
持水孔度 Water holding pore(%)	39.64	30.22	32.63	46.61	38.48	37.46	34.82	35.00	—	—	—	—
通气孔度 Air-filled pore(%)	34.55	45.18	36.72	27.99	34.10	36.73	38.97	37.98	—	—	—	—

供试土壤有机质含量与病情指数的关系达到显著水平($r=0.621^*$, $n=12$), HA+FA、HA 和 FA 与病情指数显著相关($r=0.815^{**}$, 0.786^{**} , 0.702^* , $n=12$)(表 4),说明活性腐殖质对锈斑形成有较明显的作用。各腐殖质组分(HA+FA、HA 和 FA)与 Fe_d/Fe_0 相关显著(分别为 0.794^{**} , 0.796^{**} , 0.631^*)(表 4),说明土壤有机质,特别是活性腐殖质对床土中氧化铁的转化有重要作用,对促进床土中氧化铁的溶解、还原,稳定溶液中 Fe^{2+} 的浓度有积极作用。

供试土壤物理性质(表5)的特点,是在整个生育期间通气孔度高(平均39.60%),持水度也高(36.06%)。这种孔隙状况,为床土中氧化与还原过程的同时进行创造了条件。通气孔隙处于好气状态进行氧化过程使有机质大量分解,形成有络合能力的中间产物,固相表面含水氧化铁络合还原,形成有机络合亚铁进入溶液之中;持水孔隙则处于嫌气状态,进行还原过程,使液相内 Fe^{3+} 嫌气还原为 Fe^{2+} 。两者的共同作用使溶液中 Fe^{2+} 浓度维持较高的水平,成为锈斑形成的重要条件。由此可见,供试土壤氧化过程和还原过程同时进行而非交替过程。

统计结果表明,通气孔度与活性高铁/活性亚铁比值呈显著正相关,持水孔度与活性高铁/活性亚铁比值呈显著负相关,进一步证明床土水分状况是周皮3种铁形态相互转化的重要条件。当床土含水量高时,活性亚铁不易氧化为活性高铁,活性高铁也不易脱水缩合为非活性铁;反之,当床土含水量低时,活性亚铁易氧化为活性高铁,而活性高铁易脱水(缩合)为非活性铁——由分子量大而失去活性的有机络合铁的多聚体。

统计结果还表明,通气孔度与病情指数呈显著负相关($r = -0.754^*$, $n = 8$),说明维持床土疏松多孔状态,对减轻参根发病程度有重要意义。

参考文献

- [1] 王韵秋. 关于靖宇县二参场人参红皮病病因的初步探讨. 特产科学实验, 1963, (2): 9~15.
- [2] 周宗璜, 等. 吉林省人参根病调查研究初报. 吉林农业大学科学研究论文集(二), 1964.
- [3] 张云成, 等. 人参红皮病病原及其防治措施的探讨. 特产科学实验, 1984, (1): 21~24.
- [4] 武孔云. 人参红皮病与无机离子的关系. 中药材, 1989, 12(12): 13~14.
- [5] 高金芳, 等. 白浆土人参营养与培肥研究, VI. 关于人参红皮病. 吉林农业科学, 1992, (1): 45~47.
- [6] 刘志光, 等. 水稻土氧化还原过程的研究. V. 还原性物质的测定. 土壤学报, 1963, 10(1): 13~28.
- [7] 浙江农业大学土化系, 等. 关于潮田稻叶褐斑病的研究. 土壤, 1977, (4): 204~208.
- [8] 刘兆荣, 等. 人参红皮病发生机理及田间综合防治初探, 土壤通报, 1995, 26(2): 87~90.