

田东县中小猪场猪瘟免疫抗体水平监测

黄宝学¹, 韦显凯^{2*}, 班雪花¹, 梁素联¹, 黄忠行¹, 王金含¹

(1. 广西田东县动物疫病预防控制中心, 广西田东 531500; 2. 广西动物疫病预防控制中心, 广西南宁 530001)

摘要 [目的]了解田东县中小猪场不同猪群的猪瘟免疫状况,为田东县防控猪瘟提供科学依据。[方法]试验选择田东县10个乡镇10个猪场,采集免疫21 d后的经产母猪、仔猪、生长育肥猪血清样本,应用阻断ELISA方法对采集血清样品进行猪瘟免疫抗体检测,比较相同疫苗不同胎次母猪群、相同疫苗不同免疫次数仔猪群、使用4种不同病毒含量(A组750RID、B组7500RID、C组20000RID、D组30000RID)猪瘟细胞苗的生长育肥猪群抗体水平。[结果]经产母猪群抗体阳性率为83.61%,总离散度为45.97%,7胎及7胎以上母猪群猪瘟免疫抗体阳性率最低,为58.33%。仔猪的一免免疫抗体阳性率为52.17%,低于国家规定标准($\geq 70%$);二免免疫抗体阳性率为81.82%,显著高于国家规定标准,比一免抗体阳性率提高了29.65个百分点。4种不同病毒含量猪瘟细胞苗免疫生长育肥猪在末次免疫21 d后,均产生较好的免疫效果,但不同病毒含量猪瘟疫苗之间存在一定差异。[结论]经产母猪群抗体离散度较大,仔猪一次免疫后抗体水平低于保护值,不同病毒含量猪瘟疫苗免疫效果存在一定差异。研究结果为进一步提高猪瘟免疫水平提供了依据。

关键词 猪瘟;抗体;免疫效果

中图分类号 S858.28 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0122-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.029



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Immune Antibodies Level Monitoring of Classical Swine Fever in Small-sized and Medium-sized Pig Farms in Tiandong CountyHUANG Bao-xue¹, WEI Xian-kai², BAN Xue-hua¹ et al (1. Animal Disease Prevention and Control Center in Tiandong County of Guangxi, Tiandong, Guangxi 531500; 2. Guangxi Animal Disease Prevention and Control Center, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract [Objective] To understand the immunization status of classical swine fever (CSF) in different pig herds of small-sized and medium-sized pig farms in Tiandong County, and provide scientific basis for the prevention and control of CSF in Tiandong County. [Method] In the experiment, 10 pig farms from 10 towns of Tiandong County were selected to collect serum samples from postpartum sows, piglets, and finishing pigs on the 21st day after immunization. The blocking ELISA method was used to detect the immune antibodies of CSF. The immune antibody levels among the different parities of postpartum sow herd immunized with the same vaccine, the piglet herd immunized with the same vaccine with different immunization times, the finishing pig herd with 4 different virus content (750RID in group A, 7500RID in group B, and 20000RID in group C, 30000RID in group D) were compared. [Result] The positive rate of antibodies in the postpartum sow herd was 83.61%, and the total dispersion was 45.97%. The antibodies positive rate of CSF in sows with the parity of no less than 7 was the lowest (58.33%). The antibodies positive rate of the second immunization was 81.82%, which was significantly higher than the national standard ($\geq 70%$). The antibodies positive rate of the second immunization was 81.82%, which was significantly higher than the national standard, and increased 29.65 percent points than the antibodies positive rate of the first immunization. After the finishing pigs were immunized with four different RID CSF cell vaccines 21 days after the last immunization, better immune effect was obtained, but the immune effect had certain differences among different RID vaccines. [Conclusion] The antibody dispersion of the postpartum sow herd was larger, and the antibody level of the piglets after the first immunization was lower than the protection value. The immunization effect had certain differences among different RID CSF vaccines. The research results provided the basis for further improving the immune level of CSF.

Key words Classical swine fever; Antibody; Immune effect

猪瘟(CSF)是由猪瘟病毒(CSFV)引起的一种高度接触性传染病,它仍然是影响当前养猪业发展的主要疫病之一^[1],一旦发生猪瘟将给猪场带来严重的经济损失^[2]。在当前及未来的很长一段时间里,依靠疫苗免疫接种仍然是我国猪瘟防控采取的主要策略^[3],其免疫效果直接影响防控成效^[4]。因此,做好疫苗免疫效果评估,保持猪群处于较高的群体免疫抗体水平是防止猪瘟发生的重要手段。笔者对田东县10个中小猪场进行猪瘟免疫抗体水平检测,结合检测结果以及对各猪场猪瘟免疫信息的调查结果,初步了解了10个中小猪场各个免疫猪群的抗体水平,比较不同胎次母猪群、不同免疫次数仔猪群、使用不同病毒含量猪瘟细胞苗生长育肥猪群的抗体水平,总结提高猪瘟免疫效果的方法,旨在为田东县猪瘟防控提供科学依据。

1 材料与方法**1.1 采样方法与样品来源** 选择田东县10个乡镇共10个

猪场采样,每个乡镇1个猪场,共457份血清样品。10个猪场共使用4种不同病毒含量的猪瘟细胞苗,设为A组(猪场A₁、A₂、A₃、A₄)、B组(猪场B₁、B₂)、C组(猪场C₁、C₂、C₃)、D组(猪场D₁)。场名以英文字母开头加阿拉伯数字命名,其中同一个英文字母代表使用同种病毒含量猪瘟细胞苗的猪场,阿拉伯数字代表猪场使用同种疫苗的顺序号。使用WinEpi流行病学软件,设置预期群抗体阳性率90%、置信水平95%、可接受误差8%,采用估计抗体阳性率方法^[5]分别计算每个猪场的采样数量。所有猪场按经产母猪、仔猪、生长育肥猪各占每个全场采样数量的1/3左右进行采样,其中仔猪群共2次采集血液,分别于一免与二免21 d后采集,每次采样数量各占50%。经产母猪群与生长育肥猪群采集1次,选择末次免疫21 d后的健康猪进行血液采集,按照常规方法分离血清,并置于-20℃下保存备用。具体采样情况见表1。分别对使用相同疫苗不同胎次母猪群、使用相同疫苗不同免疫次数仔猪群、生长育肥猪不同病毒含量猪瘟细胞苗进行猪瘟免疫抗体水平检测。

作者简介 黄宝学(1975—),男,广西田东人,高级兽医师,从事动物疫病防控工作。*通信作者,高级兽医师,博士,从事畜禽传染病诊断与防控研究。

收稿日期 2021-03-21

表 1 田东县 10 个中小猪场猪瘟免疫抗体水平监测采样数统计

Table 1 Statistics on the number of samples for monitoring the immune antibodies level of CSF in 10 small-sized and medium-sized pig farms in Tiandong County

场名 Name of farms	存栏量 Number in stock 头	全场采样数 Number of samples in the whole farm//份	各类别猪群样品数 Number of samples from different pig herds//份		
			经产母猪 Postpartum sows	仔猪 Piglets	生长育肥猪 Finishing pigs
A ₁	280	46	15	15	16
A ₂	275	46	15	16	15
A ₃	350	47	17	15	15
A ₄	216	44	14	15	15
B ₁	316	47	16	16	15
B ₂	260	45	15	15	15
C ₁	280	46	16	15	15
C ₂	240	45	15	15	15
C ₃	220	44	14	15	15
D ₁	320	47	15	16	16
合计 Total	2 757	457	152	153	152

1.2 免疫情况调查 采用现场调查和查看各个猪场养殖档案登记簿,重点查看免疫接种记录,包括免疫接种时间、疫苗种类、疫苗病毒含量等免疫信息。

1.3 试剂 猪瘟 ELISA 抗体检测试剂盒(批号 180925),购自武汉科前生物股份有限公司。

1.4 检测方法与结果判定 采用 ELISA 检测,操作步骤及结果判定参照 ELISA 抗体检测试剂盒说明书进行。样品阻断值 $\leq 30\%$ 判为阴性,阻断值 $\geq 40\%$ 判为阳性即抗体合格。

1.5 数据统计与分析 使用 SPSS 17.0 和 Excel 软件对试验数据进行卡方检验。

2 结果与分析

2.1 猪场免疫情况调查 10 个猪场共使用 4 种不同病毒含量的猪瘟细胞苗,设为 A、B、C、D 组。其中,A 组疫苗成品苗病毒含量为 750RID;B 组疫苗成品苗病毒含量为 7 500RID;C 组疫苗成品苗病毒含量为 20 000RID;D 组疫苗成品苗病毒含量为 30 000RID(表 2)。经产母猪每年 3 次普免或跟胎免疫;仔猪 25~35 日龄首免,50~65 日龄二免;生长育肥猪 95~110 日龄加强免疫 1 次。所有猪场每次免疫剂量均为 1 头份。

表 2 各猪场免疫情况调查结果

Table 2 The survey results of immunization in each pig farm

组别 Group	猪场名称 Name of pig farms	疫苗种类 Kinds of vaccines	成品苗病毒含量 Virus content in vaccines
A	A ₁ 、A ₂ 、A ₃ 、A ₄	原代细胞苗	750
B	B ₁ 、B ₂	传代细胞苗	7 500
C	C ₁ 、C ₂ 、C ₃	传代细胞苗	20 000
D	D ₁	传代细胞苗	30 000

2.2 不同胎次经产母猪猪瘟免疫抗体水平检测 从 10 个猪

场使用的 4 组疫苗中,随机选取一组疫苗对不同胎次经产母猪进行猪瘟免疫。试验选取 A 组疫苗的 A₁、A₂、A₃、A₄ 猪场进行免疫抗体水平检测。由表 3 可知,经产母猪总阳性率为 83.61%,7 胎以上猪瘟免疫抗体阳性率最低(58.33%),3~4 胎经产母猪猪瘟免疫抗体阳性率最高(94.74%)。7 胎及 7 胎以上母猪猪瘟抗体阳性率与其他胎次相比差异显著($P < 0.05$),1~2 胎、3~4 胎、5~6 胎之间差异不显著($P > 0.05$)。总离散度为 45.97%,1~2 胎离散度为 46.68%,3~4 胎离散度为 42.41%,5~6 胎离散度为 43.01%,7 胎及 7 胎以上离散度为 57.92%。抗体阳性率呈现“中间高两端低”现象,抗体离散度与阻断均值成反比,阻断均值越高,离散度越低。

表 3 不同胎次经产母猪猪瘟免疫抗体水平检测结果

Table 3 The detection results of immune antibodies levels of CSF in different parities level of postpartum sows

胎次 Parities	样品数 Number of samples//份	阳性率 Positive rate//%	阻断值 Blocking value %	离散度 Dispersion %
1~2	17	82.35	49.53±23.12	46.68
3~4	19	94.74	57.42±24.35	42.41
5~6	13	92.31	54.62±23.49	43.01
≥ 7	12	58.33	46.67±27.03	57.92
合计 Total	61	83.61	52.51±24.14	45.97

2.3 仔猪不同免疫次数猪瘟免疫抗体水平的比较 从 10 个猪场使用的 4 组疫苗中,随机选取 1 组疫苗对仔猪进行不同免疫次数猪瘟免疫。试验选取 C 组疫苗的 C₁、C₂、C₃ 猪场进行抗体水平检测。由表 4 可知,一免检测血清样品数 23 份,猪瘟免疫抗体阳性数 12 份,免疫抗体阳性率为 52.17%,低于国家规定的要求标准($\geq 70\%$)。二免检测血清样品数 22 份,猪瘟免疫抗体阳性数 18 份,免疫抗体阳性率为 81.82%,超过了国家规定要求标准。二免后的免疫抗体阳性率比一免后免疫抗体阳性率,提高了 29.65 百分点。

表 4 仔猪不同免疫次数猪瘟免疫抗体水平的比较

Table 4 Comparison of the immune antibodies levels of piglets with different immunization times

免疫次数 Immunization times	样品数 Number of samples//份	阳性数 Number of positive samples//份	阳性率 Positive rate %
一免 First immunization	23	12	52.17
二免 Second immunization	22	18	81.82

2.4 不同 RID 猪瘟细胞苗免疫育肥猪抗体水平分析 根据猪场免疫情况调查结果(表 5),对使用不同病毒含量的猪瘟兔化弱毒细胞苗免疫的 10 个猪场生长育肥猪群进行猪瘟抗体水平检测,A、B、C、D 组疫苗在末次免疫 21 d 后猪瘟抗体阳性率均超过农业农村部规定的免疫抗体阳性率($\geq 70\%$),但不同疫苗之间存在一定差异:C 组抗体阳性率和抗体阻断值均较高,且离散度低于 A、B、D 组(表 5)。这表明使用 C 组疫苗免疫后产生的猪瘟抗体水平最高。

表5 生长育肥猪不同病毒含量的猪瘟细胞苗免疫抗体检测结果

Table 5 The immune antibody detection results of finishing pigs immunized with CSF vaccines with different virus content

组别 Group	样品数 Number of samples//份	阳性率 Positive rate//%	阻断值 Blocking value %	离散度 Dispersion %
A	61	80.33	57.25±19.27	33.66
B	30	86.67	55.57±22.28	40.09
C	45	100	72.00±11.51	15.99
D	16	75.00	51.56±22.32	43.29
合计 Total	152	86.84	60.68±19.70	32.47

3 讨论

猪瘟疫苗免疫最终的目的是诱导机体产生足够的抗体来抵抗猪瘟野毒的侵袭,猪场的饲养环境、气候条件、猪的体质及疫苗选择等因素均能影响猪瘟免疫抗体水平,因此定期开展猪瘟免疫效果监测非常重要^[6]。一个猪场不同猪群的抗体水平不同,猪场疫病的暴发首先从抗体水平低的猪群开始发病,然后蔓延全场。监测不同免疫猪群猪瘟免疫抗体水平的变化,了解猪群对疾病的抵抗能力,分析猪场免疫效果,推测猪群有发生猪瘟的潜在隐患,进而针对猪场免疫薄弱环节制定相应防控措施来提高猪场的整体免疫水平,降低猪群流行野毒的感染率,对于早期控制疫病、保障猪场高效健康养殖具有重要意义。

经产母猪是猪场健康发展的核心猪群。此次调查发现,不同胎次经产母猪的整体猪瘟免疫抗体阳性率为 83.61%,显著高于国家规定标准(≥70%),可对猪群产生免疫保护,这说明广大养猪场重视经产母猪群的猪瘟免疫工作,已经认识到经产母猪群对猪场扩大生产性能与保持稳定生产的重要性。各胎次中 3~4 胎母猪抗体阳性率最高,可能由于处于这个胎次的母猪已经建立了稳定的免疫应答机制,在疫苗免疫时能够迅速、有效地产生抗体。但必须注意的是,5 胎次以上免疫抗体阳性率逐渐下降,推测生长周期长的母猪感染 PCV-2 型、PRRSV 等免疫抑制病或发生猪瘟带毒综合征,不能产生足够的抗体^[7-8]。抗体水平低的经产母猪在妊娠期间容易感染流行的野毒,造成母猪繁殖障碍,产下木乃伊胎、死胎、弱胎。患有猪瘟带毒综合征的经产母猪通过垂直传播不仅会导致新生仔猪发病、死亡,而且会使存活仔猪成为持续感染者,可长期带毒、排毒,机体内形成天然免疫耐受、先天性免疫麻痹,使后天免疫应答能力很难发挥作用,几乎不产生中和抗体^[8],给猪场带来猪瘟发生的恶性循环。抗体离散度是评价免疫猪群抗体水平均匀度和整齐度的指标,猪群离散度越小说明免疫效果越好,猪群整体的离散度一般要求在 40% 以下^[9]。此次调查发现不同胎次经产母猪的离散度均超过 40%,3~4 胎母猪最低,为 42.41%;7 胎及 7 胎以上母猪最高,为 57.92%,说明猪群个体间猪瘟抗体水平差异较大,存在发生猪瘟的重大隐患。使经产母猪处于一个较高且整齐的猪瘟抗体水平是有效控制猪瘟发生的重要手段,生产上猪场应加强高胎次母猪的猪瘟抗体水平监测,淘汰经多次免疫后仍不合格的猪只。同时,加大母猪更新率,淘汰生产性能不稳定的高胎次母猪,以提高整个猪场的生产成绩。

该研究结果表明仔猪二次免疫的抗体阳性率比一次免疫阳性率提高 29.65 百分点,与潘孝成等^[10]对安徽 6 家猪场的研究结果(仔猪二次免疫抗体阳性率比一次免疫抗体阳性率提高 35.2 百分点)不一致,可能是由于猪场的饲养条件不同等因素所致。对当前的猪场仅仅实施一次免疫是不够的,只有实施二次免疫,才能使猪群获得较高的免疫抗体水平,有效防控猪瘟疫病的发生。仔猪一免后抗体阳性率仅为 52.17%,抗体水平低于保护值,存在发生猪瘟的风险。在当前猪瘟发病日龄趋于幼龄^[11],临床上呈现非典型性猪瘟并能继发细菌病混合感染的流行形势下,必须做好仔猪一免后出现免疫空白期的防控工作,除了采取加强饲养管理,增强猪只抗病能力、建立健全的生物安全体系、实行自繁自养及全进全出等措施外,还要加强免疫工作才能控制猪瘟的广泛流行。王娟萍等^[12]研究表明,哺乳仔猪实行哺乳前超免、21 日龄时二免、60 日龄三免可使免疫仔猪抗体阳性率接近 90%。

当前,猪瘟已退出国家强制免疫病种,猪瘟免疫由养殖场(户)自行购买疫苗实施免疫注射,目前市售猪瘟疫苗种类繁多,而选择适合的疫苗是猪场成功免疫的前提。该试验结果表明结合猪场免疫信息调查结果,选择免疫程序相同、猪群使用疫苗种类一致性、免疫器官发育趋向成熟等方面的生长育肥猪群来研究不同 4 种 RID 猪瘟细胞苗的免疫效果。评估每种疫苗的免疫效果,从免疫后猪群抗体阳性率、抗体总平均值、离散度等方面综合评价,抗体阳性率和阻断值高,而离散度低,表明该疫苗的免疫效果最好^[13]。该研究结果表明 4 种不同病毒含量猪瘟细胞苗在末次免疫 21 d 后,免疫抗体阳性率均达到国家规定的标准(≥70%),表明 4 种疫苗具有良好的免疫效果。进一步分析发现,病毒含量最高的 D 组免疫效果最差,C 组呈现相对较高的抗体阳性率和抗体阻断值,且离散度低于 A、B、D 组。这表明使用 C 组疫苗免疫后产生的猪瘟抗体水平最高。由此可见,疫苗诱导免疫反应的强弱与病毒含量高低不成正比。选择一定的病毒含量能刺激机体产生足够的保护性抗体即可,病毒含量过高、超过动物机体免疫系统的最大承受能力后,会造成免疫抑制。病毒含量过低,则不能诱导机体产生足够抗体。该试验结果表明,猪瘟兔化弱毒细胞苗病毒含量为 20 000RID 时免疫效果较好。生产中猪场要定期对猪群进行抗体水平检测,参考监测数据来选择疫苗,以实现最佳的免疫效果和猪场成本效益最大化。

参考文献

- [1] FLOEGEL-NIESMANN G, BUNZENTHAL C, FISCHER S, et al. Virulence of recent and former classical swine fever virus isolates evaluated by their clinical and pathological signs [J]. *J Vet Med Ser B*, 2003, 50(5): 214-220.
- [2] MOENNIG V, FLOEGEL-NIESMANN G, GREISER-WILKE I. Clinical signs and epidemiology of classical swine fever: A review of new knowledge [J]. *Vet J*, 2003, 165(1): 11-20.
- [3] 孟帆, 王娟萍, 姚敬明, 等. 免疫增强剂对猪瘟疫苗细胞免疫的影响 [J]. *山西农业科学*, 2015, 43(7): 881-884.
- [4] 韩崇江, 张大丙. 部分猪场猪瘟抗体有效保护水平的探讨 [J]. *中国畜牧兽医*, 2009, 36(10): 191-192.
- [5] 沈朝建, 王幼明. 兽医流行病学调查与监测抽样技术手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

- [J].应用生态学报,2012,23(12):3295-3300.
- [2] KLINEROVÁ T, DOSTÁL P. Nutrient-demanding species face less negative competition and plant-soil feedback effects in a nutrient-rich environment [J]. *New phytologist*, 2020, 225(3): 1343-1354.
- [3] DU E Z, TERRER C, PELLEGRINI A F A, et al. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation [J]. *Nature geoscience*, 2020, 13(3): 221-226.
- [4] CHOMEL M, GUITTONNY-LARCHEVÉQUE M, FERNANDEZ C, et al. Plant secondary metabolites: A key driver of litter decomposition and soil nutrient cycling [J]. *Journal of ecology*, 2016, 104(6): 1527-1541
- [5] BARDGETT R D, FREEMAN C, OSTLE N J. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks [J]. *The ISME Journal*, 2008, 2(8): 805-814.
- [6] 周晓宇, 张称意, 郭广芬. 气候变化对森林土壤有机碳贮藏影响的研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1867-1874.
- [7] NOVEM AUYEUNG D S, SUSEELA V, DUKES J S. Warming and drought reduce temperature sensitivity of nitrogen transformations [J]. *Global change biology*, 2013, 19(2): 662-676.
- [8] 方杰, 魏雅芬, 刘帅, 等. 科尔沁沙地丘间低地樟子松人工林水分利用来源的稳定同位素解析 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(9): 1894-1900.
- [9] 张楠楠, 关文彬, 谢静, 等. 科尔沁沙地东南缘大青沟自然保护区土壤水分的时空分布特征 [J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3860-3873.
- [10] 孔涛, 张莹, 雷泽勇, 等. 沙地樟子松人工林土壤氮矿化特征 [J]. *干旱区研究*, 2019, 36(2): 296-306.
- [11] 于东伟, 雷泽勇, 张岩松, 等. 沙地樟子松人工林的生长对土壤氮变化的影响 [J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(6): 179-186.
- [12] 淑敏, 王东丽, 王凯, 等. 不同林龄樟子松人工林针叶-凋落叶-土壤生态化学计量特征 [J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3): 174-179.
- [13] 朱教君, 康宏樟, 许美玲. 科尔沁沙地南缘樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 人工林天然更新障碍 [J]. *生态学报*, 2007, 27(10): 4086-4095.
- [14] 高俊波, 卢正茂, 吴耀先, 等. 樟子松人工林在辽东山区的生长评价 [J]. *吉林林业科技*, 2007, 36(1): 31-33.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 25-114.
- [16] GAO X L, LI X G, ZHAO L, et al. Regulation of soil phosphorus cycling in grasslands by shrubs [J]. *Soil biology and biochemistry*, 2019, 133: 1-11
- [17] HOULTON B Z, MORFORD S L, DAHLGREN R A. Convergent evidence for widespread rock nitrogen sources in Earth's surface environment [J]. *Science*, 2018, 360(6384): 58-62.
- [18] MANZONI S, JACKSON R B, TROFYMOW J A, et al. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization [J]. *Science*, 2008, 321(5889): 684-686.
- [19] ZHOU Y, BOUTTON T W, WU X B. Soil phosphorus does not keep pace with soil carbon and nitrogen accumulation following woody encroachment [J]. *Global change biology*, 2018, 24(5): 1992-2007.
- [20] QIAO Y, WANG J, LIU H M, et al. Depth-dependent soil C-N-P stoichiometry in a mature subtropical broadleaf forest [J/OL]. *Geoderma*, 2020, 370[2020-11-05]. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114357>.
- [21] YANG Y H, MOHAMMAT A, FENG J M, et al. Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China [J]. *Biogeochemistry*, 2007, 84(2): 131-141.
- [22] 谭一波, 田红灯, 郑威, 等. 广西猫儿山森林群落土壤物理性质空间变
- 异及其环境影响因素 [J]. *广西林业科学*, 2017, 46(2): 123-129.
- [23] KNAPP A K, SMITH M D. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production [J]. *Science*, 2001, 291(5503): 481-484.
- [24] LISKI J, NISSINEN A, ERHARD M, et al. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest [J]. *Global change biology*, 2003, 9(4): 575-584.
- [25] GONZÁLEZ G, SEASTEDT R. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests [J]. *Ecology*, 2001, 82(4): 955-964.
- [26] 孟鹏, 张柏宇, 王曼. 科尔沁沙地赤松和樟子松根系生物量分配与构型特征 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(10): 2935-2941.
- [27] 孔涛, 吴丹, 沈海鸥, 等. 沙地樟子松人工林根系及土壤养分分布特征 [J]. *中国水土保持科学*, 2020, 18(4): 84-93.
- [28] 赵隽宇, 覃祚玉, 石媛媛, 等. 25 年长期经营下广西松树人工林土壤养分特征与质量评价 [J]. *南方林业科学*, 2020, 48(2): 18-22, 27.
- [29] ADKINS J, JASTROW J D, MORRIS G P, et al. Effects of switchgrass cultivars and intraspecific differences in root structure on soil carbon inputs and accumulation [J]. *Geoderma*, 2016, 262: 147-154.
- [30] 罗东辉, 夏婧, 袁婧薇, 等. 我国西南山地喀斯特植被的根系生物量初探 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 611-618.
- [31] KHATTAK R A, HUSSAIN Z. Evaluation of soil fertility status and nutrition of orchards [J]. *Soil & environment*, 2007, 26(1): 22-32.
- [32] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关分析 [J]. *中国土壤与肥料*, 2007(6): 19-22, 49.
- [33] 何毓蓉. 中国紫色土 (下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [34] CURTIN D, CAMPBELL C A, JALIL A. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils [J]. *Soil biology and biochemistry*, 1998, 30(1): 57-64.
- [35] 刘兴宇, 赵琼, 曾德慧, 等. 樟子松针叶磷组分浓度与土壤有效磷浓度的关系 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 494-498.
- [36] ELSER J J, BRACKEN M E S, CLELAND E E, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems [J]. *Ecology letters*, 2007, 10(12): 1135-1142.
- [37] VITOUSEK P M, PORDER S, HOULTON B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions [J]. *Ecological applications*, 2010, 20(1): 5-15.
- [38] 赵欣然, 赵琼, 王巍巍, 等. 氮添加及凋落物管理对樟子松人工林土壤理化性质的影响 [J]. *生态学杂志*, 2016, 35(10): 2699-2706.
- [39] 常清青, 何洪林, 牛忠恩, 等. 中国典型森林生态系统土壤水分时空分异及其影响因素 [J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 490-502.
- [40] 颜安, 李周晶, 武红旗, 等. 不同耕作年限对耕地土壤质地和有机碳垂直分布的影响 [J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1): 291-295.
- [41] 佟小刚, 韩新辉, 李娇, 等. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤颗粒结合态碳库分异特征 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(21): 170-176.
- [42] FISHER M J, RAO I M, AYARZA M A, et al. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas [J]. *Nature*, 1994, 371(6494): 236-238.
- [43] NEPSTAD D C, DE CARVALHO C R, DAVIDSON E A, et al. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures [J]. *Nature*, 1994, 372(6507): 666-669.

(上接第 124 页)

- [6] 郝飞, 张华, 汤德元, 等. 我国规模化猪场主要病毒性疫病的综合防控对策 [J]. *畜牧与兽医*, 2012, 44(10): 86-89.
- [7] 赵坤, 李培庆, 李敬玺, 等. 猪免疫抑制综合症的发生与防控 [J]. *安徽农业科学*, 2005, 33(11): 2074-2075, 2081.
- [8] 王天奇. 猪场不可忽视猪瘟带毒母猪综合征 [J]. *乡村科技*, 2015(9): 10.
- [9] 韦显凯, 郑列丰, 郑敏, 等. 规模猪场猪瘟免疫抗体监测和效果分析 [J]. *中国兽医杂志*, 2012, 48(9): 43-45.
- [10] 潘孝成, 赵瑞宏, 沈学怀, 等. 安徽种猪场仔猪猪瘟免疫效果分析 [J]. *养猪*, 2017(4): 102-104.
- [11] 刘建, 汤德元, 李春燕, 等. 我国猪瘟流行新趋势与防控措施 [J]. *中国猪业*, 2013, 8(2): 37-39.
- [12] 王娟萍, 姚敬明, 吴忻, 等. 规模化种猪场猪瘟免疫情况调研 [J]. *中国畜牧兽医*, 2012, 39(1): 184-187.
- [13] 赵永前, 孙华伟, 张敬峰, 等. 县域范围内猪瘟疫苗免疫效果的监测与研究 [J]. *江西农业学报*, 2017, 29(3): 120-123.