

杨杰,秦枫,潘孝青,等. LED光照对苏系长毛兔血液及毛纤维中矿物元素含量及粗毛强度的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):196-198.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.050

# LED光照对苏系长毛兔血液及毛纤维中矿物元素含量及粗毛强度的影响

杨杰,秦枫,潘孝青,邵乐,翟频,李健,张霞,刘蓓一

(江苏省农业科学院畜牧研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**试验拟研究LED光照对苏系长毛兔血液及毛纤维中矿物元素含量的影响,测定粗纤维的强度,并探讨LED光对兔纤维机械性能的影响。选择3月龄健康体质量相近长毛兔50只,随机分为5组,每组10只(雌雄各占50%),即LED红光、LED绿光、LED蓝光、黑暗、自然光(对照组)组。结果发现,不同颜色光对血液和毛纤维中矿物元素影响各不相同,自然光组血液中矿物元素含量依次为 $Zn > Pb > Cu > Fe > Mg > Ca > Cd$ ,而毛发中矿物元素含量依次为 $Ca > Zn > Mg > Fe > Cu > Pb > Cd$ ,且其他处理组矿物元素含量与自然光组相似。自然光有利于血液中Mg和Fe的吸收,有利于毛纤维中B、Cu、P和Mn的吸收;红光有利于血液中Cu、Zn和Cd的吸收,利于毛纤维中Al的吸收;绿光有利于毛纤维中Mo和I的吸收;蓝光有利于血液中Ca和Pb的吸收,利于毛纤维中的Mg、Fe、Pd和Cd吸收;黑暗利于毛发中Zn、Ca和Cr的吸收。强度方面,则以黑暗组粗毛强力最大,为17.87 cN,自然光组粗毛的强力最小,为14.04 cN,不同处理组之间强力无显著性差异。蓝光组粗毛的伸长率、拉伸长度最大,分别为37.69%、7.54 mm,绿光组粗毛的伸长率、拉伸长度最小,分别为32.13%、6.43 mm,二者之间存在显著性差异。由此可见,不同LED光处理能影响毛纤维的强力,进而影响毛纤维的机械抗断能力,从而影响毛纤维的工艺性能。

**关键词:**LED光;苏系长毛兔;毛纤维;矿物元素;强力

**中图分类号:**S829.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)23-0196-03

矿物元素是动物机体生长发育和物质代谢等重要生命过程中所必需的营养物质,具有调节酶促反应,促进常量元素在体内运输,参与激素合成及构成某些营养素等多种生物学功能<sup>[1]</sup>。如矿物元素Zn、Fe、I与动物的生长发育、营养代谢、生殖、疾病等关系十分密切,矿物元素缺少或过量都会影响到动物机体的生长发育与健康<sup>[2-6]</sup>。

被毛在生长期,有许多微血管伸到毛根中,使毛根的基质细胞与血液、细胞外液及淋巴液密切接触,吸收营养物质,是家畜体内代谢系统的重要组成部分。因此,毛中矿物元素含量变化能反映动物体的生理状态。黄炎等用质子激发X射线发射法分析了大熊猫患癫痫死亡后,其毛发中矿物元素Zn、Ca、K的含量明显高于健康大熊猫<sup>[7]</sup>。关于LED光对动物体内多种矿物元素含量的影响研究尚未见相关报道。因此,本试验研究不同颜色LED光照对长毛兔血液、毛纤维中矿物元素及粗毛强度的影响,探讨机体矿物元素的变化,分析LED光对毛强度及毛加工性能的影响,以期LED光在长毛兔生产中应用提供技术支持。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验设计

50只3月龄、体质量相近(2.245±0.296 kg)的健康苏系长毛兔,随机分为5组,每组10只(雌雄各占50%),采用不同LED光处理,处理组即为LED红光、LED绿光、LED蓝光、黑暗和自然光(对照组),试验期73 d。

### 1.2 试验日粮

试验日粮配制参照NRC(1977)家兔饲养标准<sup>[8]</sup>和谷子林推荐的獭兔营养<sup>[9]</sup>需要。消化能供给量为1.2倍的维持需要。基础日粮组成及营养水平见表1。

**表1 日粮组成(风干基础)和营养水平(DM基础)**

原料	含量(%)	营养成分	水平
草粉	40.0	干物质(%)	90.09
玉米	22.0	消化能(MJ/kg)	11.58
麦麸	20.7	粗蛋白质(%)	16.85
豆粕	10.0	粗纤维(%)	14.30
磷酸氢钙	2.0	钙(%)	1.20
食盐	0.3	总磷(%)	1.15
预混料	5.0	赖氨酸(%)	0.96
合计	100.0	蛋氨酸(%)	0.52

注:1. 每kg预混料含:FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 5 320 mg、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 1 080 mg、MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 560 mg、ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 3 652 mg、CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 1 000 mg、维生素A 180 000 IU、维生素D 18 000 IU、维生素E 900 000 IU。2. 消化能为估测值,其他为实测值。

### 1.3 饲养管理

试验前对兔舍兔笼进行彻底清扫、消毒,长毛兔统一剪毛。1兔1笼,饲喂相同基础日粮,每天饲喂2次,分别于08:30、15:30饲喂,自由采食、饮水。采用16 h光照:8 h黑暗光照制度(光照强度一致)。

收稿日期:2018-07-16

基金项目:国家兔产业技术体系南京综合试验站建设项目(编号:CARS-43-G-2)。

作者简介:杨杰(1972—),男,安徽蒙城人,硕士,研究员,主要从事家兔饲养调控研究。E-mail:598320394@qq.com。

### 1.4 样本采集

试验末,每组选取5只体质量相近的长毛兔,心脏采血分离血清, -20℃保存用于矿物元素[铜(Cu)、锌(Zn)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、铅(Pb)、镉(Cd)]含量测定;取肩胛部、背部、腹部相同部位的毛样,用于强度、毛纤维中矿物元素[硼(B)、镁(Mg)、铝(Al)、磷(P)、钙(Ca)、锰(Mn)、铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)、钼(Mo)、铁(Fe)、碘(I)、镉(Cd)、铅(Pb)]含量测定。

### 1.5 指标检测

样品前处理:取1g烘干的毛样,置于经稀酸浸泡洗涤干净的烧杯中,加入混合酸10mL(硝酸:高氯酸体积比4:1,优级纯),在电热板上于通风橱内消解至无色透明,冒白烟时取下,冷却至室温,定容至10.00mL,再将溶液稀释100倍后取1mL待测。处理过的兔毛纤维样品送至江苏省农业科学

院中心实验室,测定矿物元素(B、Mg、Al、P、Ca、Mn、Cr、Cu、Zn、Mo、Fe、I、Cd、Pb)含量;兔全血样品送至南京市中西医结合医院,测定矿物元素(Cu、Zn、Ca、Mg、Fe、Pb、Cd)含量。

### 1.6 数据处理

运用Excel 2010整理数据,采用SPSS 17.0进行单因素方差分析,Duncan's法多重比较,数据均以平均数±标准误表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同LED光对长毛兔全血矿物元素含量的影响

长毛兔全血中矿物元素的含量见表2。全血矿物元素Cu、Zn、Cd含量以红光组最高,Cu、Zn含量以绿光组最低,且红光组Zn含量显著高于绿光组;Mg、Fe含量自然光组最高,绿光组最低,但与其他4组差异不显著;Ca、Pb含量蓝光组最高,其次为绿光组,红光组最低,但各组间均差异不显著。

表2 不同LED光条件下长毛兔全血中矿物元素含量的影响

处理	矿物元素含量(μmol/L)						
	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Pb	Cd
自然光	19.70±0.29a	75.10±5.86ab	2.19±0.09a	2.26±0.05a	8.10±0.34a	24.00±0.58a	0.30±0.12b
红光	26.10±1.81a	96.70±25.3a	2.19±0.20a	2.22±0.19a	7.05±0.96a	23.00±4.36a	2.93±1.27a
绿光	17.70±3.57a	52.10±15.90b	2.50±0.29a	1.72±0.39a	5.08±2.46a	27.30±6.89a	0.43±0.12b
蓝光	25.30±3.01a	70.40±3.24ab	3.09±0.73a	2.25±0.16a	7.21±0.53a	29.00±4.81a	1.03±0.53ab
黑暗	20.20±2.84a	70.40±4.05ab	2.40±0.08a	2.08±0.07a	7.69±0.53a	23.30±5.46a	0.20±0.00b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),  $n = 5$ 。表3、表4同。

### 2.2 不同LED光对长毛兔兔毛纤维矿物元素含量的影响

兔毛纤维中矿物元素的含量见表3。兔毛纤维矿物元素B、Cu、P、Mn含量自然光照组最高,其次为绿光,B、Cu、P含量黑暗组最低,Mn含量蓝光组最低,自然光组B含量显著高于黑暗组,其他各组间差异不显著;Zn、Ca、Cr含量黑暗组最高,

Zn含量红光组最低,Ca、Cr含量蓝光组最低;Mg、Fe、Pb、Cd含量蓝光组最高,其中Mg含量黑暗组最低,Fe、Pb、Cd含量红光组最低;Al含量红光组最高,蓝光组含量最低;Mo、I含量绿光组最高,黑暗组最低。除B以外,其他元素含量处理组间差异不显著。

表3 不同LED光对长毛兔兔毛矿物元素的影响

处理	矿物元素含量(μmol/L)						
	B	Mg	Al	P	Ca	Mn	Cr
自然光	4.06±0.47a	70.00±19.9a	11.27±4.20a	158.4±13.90a	1276.1±731.80a	1.33±0.30a	10.61±6.86a
红光	3.16±0.26a	74.00±11.9a	13.06±3.98a	133.30±2.80a	1018.4±239.20a	1.17±0.11a	6.39±2.22a
绿光	4.01±0.47a	79.90±25.70a	9.51±0.82a	145.60±7.30a	1256.2±424.03a	1.19±0.19a	8.18±2.17a
蓝光	4.00±0.15a	92.60±31.30a	9.48±2.00a	143.90±20.80a	712.20±223.20a	1.21±0.13a	3.36±1.12a
黑暗	2.68±0.46b	66.60±10.10a	9.91±2.03a	120.90±7.90a	1822.00±591.30a	1.24±0.19a	22.94±12.02a

处理	矿物元素含量(μmol/L)						
	Cu	Zn	Mo	Fe	I	Cd	Pb
自然光	9.45±0.63a	380.10±150.60a	0.38±0.24a	37.30±10.00a	7.07±3.47a	0.60±0.13a	6.76±0.78a
红光	8.85±0.58a	258.10±20.50a	0.16±0.04a	22.40±4.90a	4.49±0.59a	0.59±0.18a	5.44±1.14a
绿光	9.16±1.36a	342.60±66.70a	0.59±0.46a	37.30±14.30a	9.64±5.45a	0.63±0.13a	6.25±1.01a
蓝光	8.30±1.00a	278.90±36.20a	0.34±0.07a	43.40±8.70a	7.38±1.32a	0.66±0.22a	6.85±1.79a
黑暗	7.06±0.90a	496.50±149.40a	0.11±0.04a	30.60±6.90a	3.45±0.46a	0.50±0.15a	5.48±1.33a

### 2.3 不同LED光对长毛兔粗毛纤维强度的影响

从表4可以看出,黑暗组粗毛强力最大,为17.87cN,自然光组粗毛强力最小,为14.04cN,但不同处理间差异不显著。拉伸率蓝光组最大,为37.69%,绿光组最小,为32.13%,2组间差异显著,但蓝光组与其他各组差异不显著。拉伸长度蓝光组最大,为7.54mm,绿光组最小,为6.43mm,2组间差异显著,蓝光组与其他各组差异不显著。

表4 不同LED光对长毛兔毛强度的影响

处理	粗毛强力(cN)	拉伸率(%)	拉伸长度(cm)
自然光	14.04±0.80a	35.02±1.09a	7.01±0.44a
红光	16.00±1.28a	33.55±1.17a	6.72±0.26a
绿光	15.68±2.07a	32.13±0.44b	6.43±0.09b
蓝光	17.05±1.34a	37.69±0.44a	7.54±0.09a
黑暗	17.87±1.05a	35.04±2.17a	7.03±0.24a

## 3 讨论与结论

矿物元素是组成生物体不可缺少的基本成分<sup>[10-11]</sup>,动物

体内包括毛发中矿物元素的积累和分解通过不同途径代谢<sup>[12-13]</sup>。危克周等研究表明,哺乳动物体内血液在维持动物

体内矿物元素含量稳定中发挥重要作用<sup>[14]</sup>,在正常生理状态下,血液中矿物元素的含量基本处于稳态控制<sup>[15]</sup>。毛发是一个新陈代谢活动的组织,通过血液的流动<sup>[16]</sup>,使毛发中矿物元素含量有一定积累<sup>[17]</sup>。同时,毛发中的角蛋白具有高度稳定性,能够防止毛发内部元素丢失。目前,通过毛发中矿物元素检测可以预防人类相关疾病,如儿童自闭症、多动症等。Skalny 等研究发现,预防矿物元素平衡改变的潜在毒性影响,定期检测 IVF 孕妇毛发中矿物元素变化是有必要的<sup>[18]</sup>。Tippairote 等研究报道,毛发中高锌水平与儿童注意力不集中症状相关<sup>[19]</sup>。Filon 等研究发现,诊断为自闭症儿童表现为毛发中锌缺乏和镉锰过量<sup>[20]</sup>。因此人和动物血液与毛发中矿物元素的检测具有一定的价值。

动物体内矿物元素的吸收受很多条件影响,对 Zn 元素而言,体内 Zn 含量、其他元素的协同与拮抗作用、饲料因素、动物自身体状等都会影响机体对 Zn 的吸收<sup>[21]</sup>。本试验结果表明,不同的 LED 光对血液和毛发中元素含量影响有很大差异,自然光下血液中矿物元素含量依次为 Zn > Pb > Cu > Fe > Mg > Ca > Cd,而毛发中矿物元素含量依次为 Ca > Zn > Mg > Fe > Cu > Pb > Cd,且其他处理组矿物元素含量排列顺序也基本类似于自然光。马昭林等对血液和毛发所含 11 种矿物元素的相关性研究中发现血液中矿物元素含量顺序为 Fe > Ca > Mg > Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > Cd > Mn > Mo,毛中含量顺序为 Fe > Ca > Mg > Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > Cd > Mn > Mo 基本呈正相关,但个体之间对矿物元素的吸收存在很大差异<sup>[22]</sup>。本试验中矿物元素变化趋势与马昭林等的研究结果有较大差异,这可能是因为不同 LED 光照引起血液与毛发中矿物元素的沉积效果不同,也可能与不同组织对同种矿物元素的吸收利用和沉积率不同有关。具体分析发现,自然光有利于血液中 Mg 和 Fe 的吸收,有利于毛发中 B、Cu、P 和 Mn 的沉积;红光有利于血液中 Cu、Zn 和 Cd 的吸收,有利于毛发中 Al 的沉积;绿光有利于毛发中 Mo 和 I 的沉积;蓝光有利于血液中 Ca、Mg 和 Pb 的吸收,有利于毛发中 Mg、Fe、Pd 和 Cd 的沉积;黑暗有利于毛发中 Zn、Ca 和 Cr 的沉积,其具体机制尚不清楚。试验进一步检测了毛纤维强度、拉伸率、拉伸长度,发现不同 LED 光影响也不同,黑暗组粗毛强力最大,为 17.87 cN,自然光组粗毛的强力最小,为 14.04 cN。蓝光组粗毛的伸长率、拉伸长度最大,分别为 37.69%、7.54 mm,绿光组粗毛的伸长率、拉伸长度最小,分别为 32.13%、6.43 mm。与毛纤维中矿物元素变化对照分析,推测黑暗组中 Ca、Zn 和 Cu 可能改变了纤维的强度,但对柔韧性没有影响,而绿光组中 Mo 和 I 则降低了纤维柔韧性,不改变强度;蓝光组中 Mg、Fe、Pd 和 Cd 增强了纤维的韧性。由此可见,不同 LED 光处理可能通过改变纤维中矿物元素的含量影响毛纤维的强度,进而影响毛纤维的机械抗断能力,从而影响毛纤维的工艺性能。

#### 参考文献:

[1]李光辉,贺普霄. 畜禽微量元素性疾病[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1990.  
[2]陈清,卢国垠. 微量元素与健康[M]. 北京:北京大学出版社,

1989;84.

- [3]王夔. 生命科学中的微量元素[M]. 北京:中国计量出版社,1992.  
[4]刘铮. 微量元素的农业化学[M]. 北京:农业出版社,1991.  
[5]Goksoy K C, Cetinkaya N, Gul F, et al. Importance of mineral imbalances in animal production and health and some diagnostic and corrective trials[R]. 1982;101-111.  
[6]杨光圻,周瑞华,孙淑庄,等. 人的地方性硒中毒和环境及人体硒水平[J]. 营养学报,1982,4(2):81-89.  
[7]Daniel C R, Piraccini B M, Tosti A. The nail and hair in forensic science[J]. Journal of the American Academy of Dermatology,2004,50(2):258-261.  
[8]黄炎. 大熊猫体内微量元素含量的研究[J]. 中国兽医杂志,1992,18(1):3-5.  
[9]NRC. Nutrition requirements of rabbits[M]. Washington D. C.: National Academy of Science,1977.  
[10]王芳,杨笑笑,李振轮,等. 矿质元素硼钙镁铁对番茄青枯菌生长及致病力的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):77-80.  
[11]代慧,陈庆生,张敏,等. 乌饭树生境土壤理化性质及矿质元素研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(8):142-144.  
[12]谷子林. 断乳仔兔腹泻发生机制及生物活性物质的调控研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2004.  
[13]Linder M C. Nutritional biochemistry and metabolism;with clinical applications[M]. Amsterdam:Elsevier,1985.  
[14]危克周,方曦,廖炎发,等. 产奶牛与胆汁引流熊的毛发及血液微量元素图谱比较研究[J]. 贵州农学院学报,1992,11(1):25-29.  
[15]Chojnacka K, Zielińska A, Górecka H, et al. Reference values for hair minerals of polish students[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology,2010,29(3):314-319.  
[16]Kempson I M, Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status[J]. Chemical Society Reviews,2011,40(7):3915-3940.  
[17]Chojnacka K M, Michalak I. The effect of hair characteristics and treatments on mineral composition of scalp hair[J]. Polish J Environ Stud,2012,21(5):1167-1173.  
[18]Skalny A V, Tinkov A A, Voronina I, et al. Hair trace element and electrolyte content in women with natural and in vitro Fertilization-Induced pregnancy[J]. Biological Trace Element Research,2018,181(1):1-9.  
[19]Tippairote T, Temviriyankul P, Benjapong W, et al. Hair Zinc and severity of symptoms are increased in children with attention deficit and hyperactivity disorder;a hair Multi-Element profile study[J]. Biological Trace Element Research,2017,179(2):185-194.  
[20]Filon J, Ustymowicz - Farbiszewska J, Karczewski J, et al. Analysis of trace element content in hair of autistic children[J]. Journal of Elementology,2017,22(4):1285-1293.  
[21]李晓颖,王静,谷巍. 微量元素锌在动物体内的吸收代谢及其影响因素[J]. 饲料与畜牧,2012,4(1):52-54.  
[22]马昭林,梁兴林,刘健,等. 健康猕猴血液和毛发微量元素含量的正常值测定和差异比较[J]. 广东微量元素科学,1995,2(12):57-62.