

4 种营养物质对藓结皮形成发育的影响

陈彦芹¹, 赵允格^{2,3}, 冉茂勇⁴

(1 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 2 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3 中国科学院水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 4 西藏职业技术学院, 西藏 拉萨 850000)

[摘要] 【目的】研究葡萄糖以及含氮、磷、钾、镁的营养物质对藓结皮形成发育的影响, 为黄土丘陵区生物土壤结皮的人工修复提供技术指导。【方法】以陕北黄土丘陵区自然发育的藓结皮为繁殖材料, 进行室内人工培养试验, 在培养基中分别添加不同质量浓度的葡萄糖(10, 20, 30, 40, 50 g/L)、硝酸铵(0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 g/L)、磷酸二氢钾(0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 g/L)、硫酸镁(0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 g/L), 以不添加营养物质为空白对照(CK), 当藓结皮生长 30 d 时, 测定藓结皮盖度、藓株密度和藓株高, 研究以上营养物质对藓结皮形成发育的影响。【结果】1) 添加的 4 种营养物质中, 用葡萄糖处理时藓结皮生长最好, 藓结皮盖度和藓株密度均最大, 分别达到了 17.2% 和 14.6 株/cm²; 硫酸镁次之; 用硝酸铵、磷酸二氢钾处理时, 藓结皮盖度、藓株密度、藓株高与 CK 相比差异均不显著。2) 随着葡萄糖质量浓度的增加, 藓结皮盖度和藓株密度逐渐增大, 且均在葡萄糖质量浓度为 50 g/L 时达到最大, 分别为 21.2% 和 18.9 株/cm²。3) 随着硝酸铵质量浓度的增加, 藓结皮盖度和藓株密度呈先增加后减小的趋势, 当硝酸铵质量浓度为 1.0 g/L 时均达到最大, 分别为 18.1% 和 16.3 株/cm²。4) 随着磷酸二氢钾质量浓度的增加, 藓结皮盖度和藓株密度也呈先增加后减小的趋势, 在磷酸二氢钾质量浓度为 2.0 g/L 时, 藓结皮盖度和藓株密度均达到最大, 磷酸二氢钾质量浓度为 8.0 g/L 时均降至最小。5) 硫酸镁质量浓度为 0.25 g/L 时, 藓结皮盖度和藓株密度均最大, 分别达到了 17.2% 和 14.8 株/cm²。【结论】在土壤培养基中添加葡萄糖和硫酸镁可以显著提高藓结皮盖度和藓株密度; 低质量浓度的硝酸铵对藓结皮的生长有促进作用, 高质量浓度反而表现出抑制作用; 磷酸二氢钾一次性施入培养基土壤时, 其对藓结皮的形成发育没有影响; 硫酸镁对藓结皮的形成发育有一定影响, 但影响结果因其质量浓度不同而存在较大差异。

[关键词] 藓结皮; 人工培养; 营养物质; 短叶扭口藓

[中图分类号] S154.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)05-0044-07

Influence of 4 nutrients on the development of moss crust

CHEN Yan-qin¹, ZHAO Yun-ge^{2,3}, RAN Mao-yong⁴

(1 Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China; 2 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4 Tibet Professional Technology College, Lasa, Tibet 850000, China)

Abstract: 【Objective】Experimental study was carried out on the influence of glucose and nutrients, with nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium on the formation and development of moss crust, to provide technical guidance for the manual repair of biological soil crust of the loess hilly area. 【Method】Using the natural moss of loess hills area as the breeding material, the interior artificial rearing experiment was carried out, glucose (10, 20, 30, 40, 50 g/L), ammonium nitrate (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 g/L), potassium di-

* [收稿日期] 2010-10-08

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金面上项目(40971174); 中科院“西部之光”人才培养计划项目; 西北农林科技大学青年科研骨干支持计划项目

[作者简介] 陈彦芹(1978—), 女, 河北吴桥人, 讲师, 硕士, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: wyc09112001@yahoo.com.cn

[通信作者] 赵允格(1970—), 女, 陕西咸阳人, 副研究员, 博士, 主要从事生物土壤结皮与土壤水分、养分运移研究。
E-mail: zyunge@ms.iswec.ac.cn

hydrogen phosphate (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 g/L), magnesium sulfate (0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 g/L) were added into the culture medium, taking the blank as the comparison, the cover age, density and height of the moss mantle were determined at 30th day, to study the influence of the nourishing substance on the growth of moss mantle. 【Result】 1) Growth was the best with glucose, moss crust cover age and density of the growth were 17.2% and 14.6 plant/cm². Compared with CK adding the ammonium nitrate, potassium dihydrogen phosphate was not significant. 2) With the increase of glucose, moss crust cover age and plant density gradually increased, reaching highest at 50 g/L, respectively, 21.2% and 18.9 plant/cm². 3) With the addition of ammonium nitrate, moss crust cover age and the growth of moss plants decreased after increasing the density in the 1.0 g/L maximum, 18.1% and 16.3 plant/cm². 4) As the addition of potassium dihydrogen sulfate increased, moss crust cover age and the growth of moss plants decreased after increasing, growth reached the highest when the concentration was 2.0 g/L, and to a minimum in 8.0 g/L. 5) Under the 0.25 g/L of magnesium sulfate, the cover age and density of moss crust were the highest, reaching 17.2% and 14.8 plant/cm². 【Conclusion】 Adding glucose and magnesium sulfate to soil medium can significantly increase the moss crust cover age and plant density of moss growth; Nitrogen has some influence on the growth of moss crust, low concentration can increase the number on unit area of mosses and the growth trend, but high concentration inhibits it; Potassium dihydrogen phosphate into the medium once has no effect on formation and development of the moss crust; Magnesium sulfate has certain influence on the development of moss crust, but the impact of the results is due to different concentrations of uncertainty.

Key words: moss crusts; artificial culture; nutrient; *Babular tectorm*

生物土壤结皮是由土壤颗粒与生长在土壤表面及其以下的蓝绿藻、微型真菌、地衣和苔藓类和其他低等非维管束植物相互作用形成的复合土层。在干旱、半干旱地区,其平均盖度可以达到60%~70%甚至更高^[1],是干旱、半干旱地区普遍存在的地被物,具有重要的生态功能,对土壤水分的运动与循环、土壤理化性状、肥力和抗侵蚀性等均有重要影响^[2]。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋拓殖物种,能够在干旱缺水、营养贫瘠、生境恶劣的环境中生长繁殖,并且能通过其代谢方式改变环境,在防风固沙、防止土壤侵蚀和区域生态环境变化等方面都具有重要作用^[3-4]。已有的研究表明,虽然所处环境不同,生物结皮的发育过程不尽相同,但大致都是按照从藻结皮到地衣结皮或藓结皮这样一个顺序进行的^[5-10]。在我国黄土丘陵区,藓结皮的形成是生物土壤结皮演替发育的最终阶段。

藓类植物在恶劣的环境条件下,能够利用无性繁殖,以芽孢或植物体碎片方式形成新的植物体^[11]。赵建成等^[11]对丛藓科的小扭口藓芽孢进行研究,发现由芽孢发育长成具有幼叶的配子体需40 d。通过藓类植物的人工培养试验,研究了植物生长物质、光照和温度等因素对藓类植物萌发、生长的影响,但藓种不同,这些因素的影响结果差异很大^[12-14],而有关营养物质对藓类植物萌发、生长影响

的研究尚鲜见报道。此外,由于每种藓的繁殖生物学特性各不相同,及其长期对不同生境的适应,具体到某一个气候区的藓类植物对营养物质的反应也存在一定的差异,因此需要针对不同气候区的不同藓类植物进行具体研究。

陕北黄土丘陵区是世界上土壤侵蚀最强烈的地区之一,生物结皮作为土壤表面的一个特殊复合层,可以显著提高土壤的抗蚀性。因此,本研究以黄土丘陵区自然发育的生物土壤结皮——藓结皮为种源,通过室内人工培养试验,探索了葡萄糖、硝酸铵、磷酸二氢钾、硫酸镁等几种营养物质对其形成发育的影响,以期为黄土丘陵区生物土壤结皮的人工修复提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 培养基土壤 培养试验所用土壤采自中国科学院安塞水土保持研究试验站的山地试验场12年自然撷荒地,为黄土母质上发育而来的黄绵土(钙质干润锥形土),为消除结皮层中散落的繁殖体的影响,采集时首先除去地上生物土壤结皮及0~5 cm厚的土层,然后掘取5~20 cm土层。土壤采集后运到实验室自然风干,研磨过筛(孔径2 mm)作为培养基土壤备用。风干土含水率为0.89%(烘干法),

其他基本养分含量见表 1^[15]。退耕地植被类型为由 白羊草(*Bothriochloa ischemum*)、铁杆蒿(*Artemis-*
ia sacrorum L.)、长芒草(*Stipa bungeana* Trin)等 组成的草本植物群落。

表 1 供试土壤的养分含量
Table 1 Fertility characters of soil

样 品 Sample	有机质/ (g · kg ⁻¹) O. M.	全氮/ (g · kg ⁻¹) Total-N	全磷/ (g · kg ⁻¹) Total-P	有效氮/ (mg · kg ⁻¹) Available-N	有效磷/ (mg · kg ⁻¹) Olsen-P	有效钾/ (mg · kg ⁻¹) Available-K
培养基土壤 Medium soil	8.492	0.462	0.662	37.95	1.552	95.58
结皮层土壤 Crust layer soil	17.368	0.887	0.630	61.75	4.403	123.10

1.1.2 供试生物结皮样 供试藓结皮样于 2008-04-05 从中国科学院安塞水土保持研究试验站的山地试验场 10 年以上撂荒地上采集。采集时,选择发育良好、具有成熟孢蒴的藓结皮,用小铲铲取藓结皮连同 1 cm 的土层,装入洁净塑料袋中,及时运回实验室自然风干。在此过程中剔除肉眼可辨的植物残渣、土块、石子等。供试藓结皮主要由较耐旱的丛藓科和真藓科植物构成,包括短叶扭口藓(*Babular tectorm*)、细叶扭口藓(*Barbula perobtusa*)、绿色流苏藓(*Crossidium squamigerum*)及刺叶真藓(*Bryum clathratum*)等,本研究以短叶扭口藓为主^[8,16]。

1.2 试验设计

1.2.1 接种材料及培养基的制备 试验采用混合结皮接种,将风干的原状藓结皮用植物试样粉碎机粉碎备用。用塑料杯(高 8 cm,内径 6 cm)作为培养器皿,每杯装土 100 g 作为培养基质,装土后每杯浇 20 mL 蒸馏水,将准备好的接种材料撒在培养基质上,然后覆一薄层土,覆土以刚好覆盖接种材料为宜。用保鲜膜封口后放入培养箱中培养 30 d。培养箱条件设定为,光照 5 230 lx,光周期 12 h/d,温度 20 ℃。

1.2.2 营养物质添加水平的设置 供试营养物质有硝酸铵(N)、磷酸二氢钾(P)、硫酸镁(Mg)和葡萄糖(D)。设置硝酸铵、磷酸二氢钾、硫酸镁和葡萄糖 4 个因素,以不添加营养物质为空白对照(CK)。各因素用量设 5 个水平:硝酸铵为 0.5,1.0,2.0,4.0,8.0 g/L;磷酸二氢钾为 0.5,1.0,2.0,4.0,8.0 g/L;硫酸镁为 0.25,0.5,1.0,2.0,4.0 g/L;葡萄糖为 10,20,30,40,50 g/L,每个水平重复 6 次。营养元素按设计水平配制成相应的营养原液,于接种前将营养原液用医用注射器均匀地一次性施入培养基土壤中。

1.3 观测指标及方法

观察记录配子体的出土时间和生长动态,统计藓结皮盖度、藓株密度和藓株高。采用固定小样方随机取样法,在每一个培养杯中随机取 3 个面积为

1 cm² 的样方,用小样方投影目测法观测其盖度,计量每个样方上的实际藓株数目作为密度值,随机抽取样方内的 6 株藓株测量其高度取平均值。

1.4 统计分析

数据统计分析采用 SPSS 软件处理,对不同添加物质组间及同一添加物质组内藓结皮生长盖度、密度与株高的平均值进行方差分析及多重比较(LSD)。

2 结果与分析

2.1 不同营养物质对藓结皮形成发育的影响

苔藓植物所需的矿质养分元素与维管束植物相似^[17]。本试验将维管束植物中常用的营养物质一次性施入土壤培养基,观察比较其对藓结皮形成发育的影响,结果如表 2 所示。

表 2 不同营养物质对藓结皮形成发育的影响(30 d)

处理 Treatment	藓结皮盖度/% Moss crusts coverage	藓株密度/ (株 · cm ⁻²) Moss density	藓株高/mm Moss height
CK	9.8 c	8.0 c	0.8 b
Mg	14.7 ab	12.7 ab	1.0 b
P	11.3 bc	9.9 bc	0.9 b
N	13.0 abc	11.8 abc	0.7 b
D	17.2 a	14.6 a	1.9 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note:The different letters mean significant difference at the $P=0.05$ level. The same with below.

由表 2 可知,在相同的培养条件下,藓结皮盖度和藓株密度由高到低依次为 $D>Mg>N>P>CK$ 。与空白对照(CK)相比,添加葡萄糖和硫酸镁可以显著增加藓结皮的盖度和藓株密度,其中以添加葡萄糖时藓结皮的盖度和藓株密度最大,分别达到了 17.2%和 14.6 株/cm²;添加硝酸铵、磷酸二氢钾的处理与 CK 间差异不显著。在所有处理中,以添加葡萄糖处理的藓株高最大,达 1.9 mm,并显著高于 CK 和其他 3 种营养物质处理。

苔藓植物属高等植物中的低等类群,本身就有很强的耐瘠薄能力,只需要少量养分就能正常生长。有研究表明,土壤浸出液中富含藓类植物孢子萌发与原丝体发育所需的营养成分^[18]。本研究所用的土壤培养基本身就含有一定的营养成分(表 1),其所含有的 N、P 2 种营养物质已经可以满足藓结皮形成发育的需求,所以与空白对照(CK)相比,添加这 2 种营养物质对藓结皮的形成发育没有显著影响。但是植物生长所需的微量元素镁,以及土壤营养中所没有的葡萄糖,则对藓结皮的形成发育有显著影响。

2.2 葡萄糖对藓结皮形成发育的影响

研究表明,补充外源糖可以促进青椒植株的生长,且其对葡萄糖的吸收率高于蔗糖^[19]。已有的植物组织培养试验证明,有机碳素可以使培养物的生长速率得到明显改善,其效果依次为葡萄糖、蔗糖、甘露醇、果糖、纤维二糖和麦芽糖等^[17]。不同质量浓度的葡萄糖对藓结皮盖度、藓株密度和藓株高的影响如表 3 所示。

表 3 不同质量浓度葡萄糖对藓结皮形成发育的影响(30 d)

Table 3 Effect of glucose at different concentrations on formation and development of moss crusts (30 d)			
葡萄糖质量 浓度/(g·L ⁻¹) Glucose concentration	藓结皮盖度/% Moss crusts coverage	藓株密度/ (株·cm ⁻²) Moss density	藓株高/mm Moss height
CK	9.8 c	8.0 c	0.8 ab
10	14.7 bc	12.4 bc	0.6 b
20	14.8 bc	12.7 bc	0.6 b
30	18.6 ab	15.1 ab	1.0 a
40	16.6 ab	14.5 ab	0.8 ab
50	21.2 a	18.9 a	0.8 ab

从表 3 可以看出,随着葡萄糖质量浓度的增高,藓结皮盖度和藓株密度基本呈增加趋势,在 50 g/L 时均达到最高,分别为 21.2% 和 18.9 株/cm²。与空白对照(CK)相比,30~50 g/L 葡萄糖显著增加了藓结皮盖度和藓株密度,10~20 g/L 葡萄糖处理的藓结皮盖度和藓株密度与 CK 之间差异不显著。10~50 g/L 葡萄糖处理的藓株高度与 CK 之间差异均不显著。由此可以推断,葡萄糖能够促进藓结皮中藓类植物的原丝体萌发和配子体形成,但对藓株高生长的影响不显著。

碳源是细胞生长的能量来源和构成细胞骨架的重要成分^[20]。研究表明,牛角藓悬浮细胞的生长速率随着培养基中蔗糖的增加而增加,在含 30 g/L 蔗糖的培养基中细胞增长最快^[21]。Takami 等^[22]用 MSF 培养基培养角苔时发现,如果培养基中的葡萄

糖或者蔗糖耗尽时,即使在光照条件下细胞也不会生长。本试验结果表明,在土壤培养基中添加葡萄糖能够提高藓结皮盖度和藓株密度,促进藓结皮中藓类植物的原丝体萌发和配子体形成,从而提高藓结皮的形成与发育,随着葡萄糖质量浓度的增加,这种促进作用越发明显。

2.3 硝酸铵对藓结皮形成发育的影响

植物组织培养试验证明,在培养基中施用无机氮素以硝酸铵的促生长效果最好^[17],而对于土壤培养基中施用硝酸铵对培养物生长的影响尚未见报道。本研究在土壤培养基中施入不同质量浓度的硝酸铵,观察其对藓结皮形成发育的影响,结果如表 4 所示。

表 4 不同质量浓度硝酸铵对藓结皮形成发育的影响(30 d)

Table 4 Effect of NH ₄ NO ₃ at different concentrations on formation and development of moss crusts (30 d)			
NH ₄ NO ₃ 质量 浓度/(g·L ⁻¹) NH ₄ NO ₃ concentration	藓结皮盖度/% Moss crusts coverage	藓株密度/ (株·cm ⁻²) Moss density	藓株高/mm Moss height
CK	9.8 cd	8.0 cd	0.8 a
0.5	16.5 ab	14.8 ab	0.9 a
1.0	18.1 a	16.3 a	0.9 a
2.0	14.3 abc	12.8 abc	0.9 a
4.0	11.7 bc	10.8 bc	0.7 a
8.0	4.5 d	4.4 d	0.3 b

从表 4 可以看出,随着硝酸铵质量浓度的增加,藓结皮盖度和藓株密度先增后减,当硝酸铵质量浓度为 1.0 g/L 时均达到最大,分别为 18.1% 和 16.3 株/cm²,显著高于 CK 和 4.0、8.0 g/L 硝酸铵处理,与 0.5 和 2.0 g/L 硝酸铵处理之间差异不显著。在所有处理中,以 8.0 g/L 硝酸铵处理的藓结皮盖度和藓株密度最低,分别为 4.5% 和 4.4 株/cm²,显著低于其他 4 个质量浓度处理,与 CK 之间差异不显著;藓株高也以 8.0 g/L 硝酸铵处理最低,并显著低于其他处理。由此可见,硝酸铵质量浓度达到 8.0 g/L 时,藓结皮的形成发育受到了抑制。

2.4 磷酸二氢钾对藓结皮形成发育的影响

磷酸二氢钾可以为植物提供 K 素和 P 素,而磷和钾都是植物生活必需的营养元素。本研究在土壤培养基中施入不同质量浓度的磷酸二氢钾,观察其对藓结皮形成发育的影响,结果如表 5 所示。由表 5 可以看出,随着磷酸二氢钾质量浓度的增加,藓结皮盖度和藓株密度均呈现出先增加后降低的趋势,用 2.0 g/L 磷酸二氢钾处理时藓结皮盖度和藓株密度达到最大,显著高于 8.0 g/L 磷酸二氢钾处理。可见,过高质量浓度的磷酸二氢钾并不利于藓结皮

的形成和发育。各处理的藓结皮盖度、藓株密度和藓株高与 CK 相比差异均不显著。磷酸二氢钾目前一般多用于根外追肥,与从土壤基质中获得钙和镁元素的方式不同,藓类植物对钾和磷元素的吸收要靠土壤以外的来源给予补充^[23]。而本研究是将其配制成一定质量浓度的营养液后一次施入土壤,这可能是添加磷酸二氢钾对藓结皮的生长无明显影响的原因之一。如果将同等用量的磷酸二氢钾在结皮发育的不同阶段分次以不同方式加入,结果也许会有不同,但这有待于进一步研究。

表 5 不同质量浓度磷酸二氢钾对藓结皮形成发育的影响(30 d)

Table 5 Effect of KH₂PO₄ at different concentrations on formation and development of moss crusts (30d)

KH ₂ PO ₄ 质量浓度/(g·L ⁻¹) KH ₂ PO ₄ concentration	藓结皮盖度/% Moss crusts coverage	藓株密度/(株·cm ⁻²) Moss density	藓株高/mm Moss height
CK	9.8 ab	8.0 bc	0.8 ab
0.5	11.9 ab	10.7 abc	0.9 ab
1.0	12.5 ab	11.3 ab	0.9 ab
2.0	14.3 a	12.5 abc	0.9 ab
4.0	9.7 ab	8.0 bc	1.1 a
8.0	8.2 b	7.0 c	0.7 b

2.5 硫酸镁对藓结皮形成发育的影响

镁是植物生长的必需元素,植物对镁的吸收不仅取决于土壤中有效镁的含量,而且阳离子如 K⁺、Ca²⁺ 等的拮抗作用也会引起植物缺 Mg²⁺^[24]。藓类植物所需的镁可以从土壤基质中获得^[23],而黄土丘陵区的黄绵土呈强石灰性反应,氧化钙含量高达 6%~8%,磷、钾含量较丰富,分别为 0.12%~0.2%和 1.5%~2.5%^[25],由于 K⁺、Ca²⁺ 等阳离子对 Mg²⁺ 有拮抗作用,可能会导致土壤中的镁元素相对缺乏。因此,本研究在土壤培养基中施入硫酸镁,观察其对藓结皮形成发育的影响,结果如表 6 所示。从表 6 可以看出,硫酸镁对藓结皮的形成发育有一定影响,但影响结果因质量浓度不同而存在较大差异。在 0.25 g/L 硫酸镁处理下,藓结皮盖度和藓株密度最大,分别达到了 17.2%和 14.8 株/cm²。与空白对照(CK)相比,添加 0.25 和 0.5 g/L 硫酸镁可以显著提高藓结皮盖度和藓株密度,其余 3 个处理与 CK 相比差异不显著,各处理之间差异也不显著。5 个质量浓度处理对藓株高的影响与 CK 相比差异均不显著。苔藓生长所需的 Mg²⁺ 主要来源于降水^[17],由此可见,藓类植物对镁的需求量不大。研究表明,当土壤溶液 Mg²⁺ 含量较高时,植物对 Mg²⁺ 的吸收属被动吸收,主要受蒸腾速率的影响;

而当 Mg²⁺ 含量较低时,植物对 Mg²⁺ 的吸收属主动吸收,不受蒸腾速率的影响^[26]。在藓结皮形成发育初期,蒸腾作用不明显,土壤溶液中 Mg²⁺ 的含量较低,有利于主动吸收,这可能是低质量浓度(0.25 g/L)硫酸镁处理能促进藓结皮形成发育,而高质量浓度处理作用不显著的主要原因。

表 6 不同质量浓度硫酸镁对藓结皮形成发育的影响(30 d)

Table 6 Effect of MgSO₄ at different concentrations on formation and development of moss crusts(30 d)

MgSO ₄ 质量浓度/(g·L ⁻¹) MgSO ₄ concentration	藓结皮盖度/% Moss crusts coverage	藓株密度/(株·cm ⁻²) Moss density	藓株高/mm Moss height
CK	9.8 b	8.0 b	0.9 a
0.25	17.2 a	14.8 a	1.0 a
0.5	16.2 a	14.1 a	1.1 a
1.0	12.2 ab	11.1 ab	1.0 a
2.0	15.0 ab	12.7 ab	1.1 a
4.0	13.1 ab	11.0 b	1.0 a

3 结 论

- 1)土壤培养基中添加葡萄糖和硫酸镁可以显著提高藓结皮盖度和藓株密度。其中添加葡萄糖的藓结皮盖度、藓株密度和藓株高均最大。添加葡萄糖能够提高单位面积藓类植物的数量及生长态势,但对藓株高的影响不显著。葡萄糖对藓结皮盖度和藓株密度有促进作用,随着葡萄糖质量浓度的增加,这种促进作用越发明显,藓结皮的形成发育与葡萄糖添加量明显呈正相关。30 g/L 葡萄糖是黄土丘陵区藓结皮人工土培中较适宜的添加量。
- 2)氮素对藓结皮生长有一定影响,低质量浓度的硝酸铵可以提高单位面积藓类植物的数量及生长态势,高质量浓度反而会起抑制作用。当硝酸铵质量浓度为 1.0 g/L 时,藓结皮盖度和藓株密度均达到最高,大于此质量浓度后,随着硝酸铵施入量的增加,藓结皮生长盖度和藓株密度随之下降。
- 3)磷酸二氢钾一次性施入培养基土壤,对藓结皮的形成发育没有明显影响。
- 4)硫酸镁对藓结皮的形成发育有一定影响,但影响结果因质量浓度不同而不同。在所设的几个水平中,以 0.25 g/L 硫酸镁处理的藓结皮盖度和藓株密度最大,并与 CK 之间存在显著差异,但藓株高生长与 CK 相比差异不显著。
- 致谢:研究得到了中国科学院安塞水土保持综合试验站的大力支持,在此表示衷心感谢!

[参考文献]

- [1] Belnap J, Lange O L. Biological soil crusts: Structure function and management [M]. Berlin: Springer Verlag, 2003: 3-50.
- [2] Williams J D, Dobrowski J P, West N E. Microphytic soil crust influence on wind erosion [J]. Tran Amer Soc Agric Eng, 1995, 38: 131-137.
- [3] 吴玉环, 高 谦, 程国栋. 生物土壤结皮的生态功能 [J]. 生态学杂志, 2002, 22(4): 41-45.
Wu Y H, Gao Q, Cheng G D. Ecological function of biological soil crust [J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 22(4): 41-45. (in Chinese)
- [4] 闫德仁, 薛英英, 赵春光. 沙漠生物结皮国内研究现状 [J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(3): 28-32.
Yan D R, Xue Y Y, Zhao C G. Present study on biological soil crusts in China [J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2007, 33(3): 28-32. (in Chinese)
- [5] 胡春香, 张德禄, 刘永定. 干旱区微小生物结皮中藻类研究的新进展 [J]. 自然科学进展, 2003, 13(8): 791-795.
Hu C X, Zhang D L, Liu Y D. Research progress on algae of the microbial crusts in arid and semiarid regions [J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(8): 791-795. (in Chinese)
- [6] 张元明, 曹 同, 潘伯荣. 新疆古尔班通古特沙漠南缘土壤结皮中苔藓植物的研究 [J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 18-23.
Zhang Y M, Cao T, Pan B R. A study on bryophyte associated with formation of soil crust in south fringe of Gurbantonggut Desert in Xinjiang [J]. Acta Bot Boreali-occident Sin, 2002, 22(1): 18-23. (in Chinese)
- [7] 赵建成, 张丙昌, 张元明. 新疆古尔班通古特沙漠生物结皮绿藻研究 [J]. 干旱区研究, 2006, 23(2): 189-194.
Zhao J C, Zhang B C, Zhang Y M. Study on chlorophytes of microbiotic crusts in the Gurbantonggut Desert, Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2006, 23(2): 189-194. (in Chinese)
- [8] 赵允格, 许明祥, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1429-1433.
Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, et al. Physical and chemical properties of soil bio-crust on rehabilitated grassland in hilly Loess Plateau of China [J]. China Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8): 1429-1433. (in Chinese)
- [9] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic crusts: A view of roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia [J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32: 389-415.
- [10] Belnap J. Recovery rates of cryptobiotic crusts: Inoculant use and assessment methods [J]. Great Basin Nat, 1993, 53: 89-95.
- [11] 赵建成, 黄士良, 李 敏, 等. 小扭口藓 (*Barbula indica*) 芽胞发育特征的实验研究 [J]. 植物研究, 2005, 25(2): 169-172.
Zhao J C, Huang S L, Li M, et al. Experimental studies on the characteristics of gemma development in *Barbula indica* [J]. Bulletin of Botanical Research, 2005, 25(2): 169-172. (in Chinese)
- [12] 刘晓红. 细胞分裂素、氯丙嗪对葫芦藓发育过程的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1998, 23(4): 476-480.
- [13] 高永超, 沙 伟, 张 喆. 不同植物生长物质对牛角藓愈伤组织诱导的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(1): 29-32.
Gao Y C, Sha W, Zhang H. Effects of different plant growth substances on callus induction of *Cratoneuron filicinum* [J]. Plant Physiology Communications, 2003, 39(1): 29-32. (in Chinese)
- [14] 刘世彪, 陈 军, 李 菁, 等. 光照和温度对尖叶拟船叶藓孢子萌发及原丝体发育的影响 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(1): 101-106.
Liu S B, Chen J, Li J, et al. Effects of light and temperatures on spore germination and protonema development of *Dolichomitriopsis diversiformis* [J]. Acta Bot Boreali-occident Sin, 2003, 23(1): 101-106. (in Chinese)
- [15] 白文娟, 焦菊英, 张振国. 黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库对植被恢复的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 65-71.
Bai W J, Jiao J Y, Zhang Z G. Effects of soil seed bank on vegetation restoration in abandoned croplands on the hilly-gullied Loess Plateau [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(4): 65-71. (in Chinese)
- [16] 赵允格, 徐冯楠, 许明祥. 黄土丘陵区藓结皮生物量测定方法及其随发育年限的变化 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(6): 1228-1232.
Zhao Y G, Xu F N, Xu M X. Measurement method of bryophyte biomass of biological soil crusts on rehabilitated on the Hilly Loess Plateau, China [J]. Acta Bot Boreali-occident Sin, 2008, 28(6): 1228-1232. (in Chinese)
- [17] 吴鹏程. 苔藓植物生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 97-269.
- [18] 李琴琴, 白学良, 任向宇. 沙漠区生物结皮层中藓类植物繁殖体发育实验研究 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 289-294.
Li Q Q, Bai X L, Ren X Y. Experimental study on development of moss propagula in biotic crusts of desert region [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(3): 289-294. (in Chinese)
- [19] 马文苛, 刘奎彬, 安志信. 青椒对外源糖的吸收与分配规律 [J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(1): 37-39.
Ma W K, Liu K B, An Z X. The study on the absorption and distribution law of exogenous sugars by sweet pepper [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2000, 23(1): 37-39. (in Chinese)
- [20] 邢建民, 赵德修, 李茂寅. 水母雪莲悬浮培养细胞生长和黄酮类活性成分合成 [J]. 植物学报, 1998, 40(9): 836-841.
Xing J M, Zhao D X, Li M Y. Cell growth and flavonoids production in suspension culture of *Saussurea medusa* [J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(9): 836-841. (in Chinese)

[21] 高永超,薛红,沙伟.蔗糖对牛角藓愈伤组织悬浮细胞的生理学影响[J].广西植物,2003,23(5):464-469.
Gao Y C,Xue H,Sha W. Physiological effect of sugar on the suspended cell of *Cratoneuron filicinum* [J]. Guihaia,2003,23(5):464-469. (in Chinese)

[22] Takami S,Yasunaga M,Takio S,et al. Establishment of suspension cultures of cells from the hornwort,*Anthoceros punctatus* L. [J]. J Hattori Bot Lab,1988,64:429-435.

[23] Glime,Janice M. Nutrient relations;Requirements [C]//The International Association of Bryologists. Bryophyte ecology. Michigan:Michigan Technological University Press,2007:6-7.

[24] 李延,刘星辉,庄卫民.植物Mg素营养生理的研究进展[J].福建农业大学学报,2000,29(1):74-80.

Li Y,Liu X H,Zhuang W M. Advances in magnesium nutritional physiology in plants [J]. Journal of Fujian Agricultural University,2000,29(1):74-80. (in Chinese)

[25] 朱显谟.黄绵土.[EB/OL].[2007-02-22].中国百科网: <http://www.chinabaike.com/article/316/327/2007/2007022260712.html>.
Zhu X M. loessial soil[EB/OL].[2007-02-22]. China encyclopedia net, <http://www.chinabaike.com/article/316/327/2007/2007022260712.html>. (in Chinese)

[26] Barber A S. Soil nutrient bio-availability: A mechanistic approach [M]. Newyork: A Wiley Inter Science Publication,1984:275-296.

(上接第 43 页)

[10] Hee-Myung PARK. Immunogenicity of alpha-toxin, capsular polysaccharide (CPS) and recombinant fibronectin-binding protein (r-FnBP) of *Staphylococcus aureus* in rabbit [J]. J Vet Med Sci,1999,61(9):995-1000.

[11] 朱立平,陈学清.免疫学常用实验方法[M].北京:人民军医出版社,2000:66-68,352-356.
Zhu L P,Chen X Q. Immunological empirical method [M]. Beijing:People's Military Medical Press,2000:66-68,352-356. (in Chinese)

[12] 曹丙蕾.奶牛乳腺炎三联灭活苗的研制及其免疫效力评价[D].山东泰安:山东农业大学,2007.
Cao B L. Development on the triple inactivated vaccine of the dairy cattle mastitis and the evaluation of the immunity effectiveness [D]. Taian,Shandong: Shandong Agricultural University,2007. (in Chinese)

[13] 杨宏军,高运东,王长法,等.金黄色葡萄球菌粘附素 FnbA 功能区基因的克隆和原核表达[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(1):54-58.
Yang H J,Gao Y D,Wang C F,et al. Cloning and expression of the functional FnbA gene of *Staphylococcus aureus* adhesion [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2008,36(1):54-58. (in Chinese)

[14] 陈怀清,陆承平.金黄色葡萄球菌的黏附素[J].中国人兽共患病杂志,1996,12(6):43-44.
Chen H Q,Lu C P. The Adhesion of *Staphylococcus aureus* [J]. Chinese Journal of Zoonoses,1996,12(6):43-44. (in Chinese)

[15] 任士飞,徐建生,董国雄,等.细菌黏附研究进展[J].中国预防兽医学报,2004,26(3):238-240.
Ren S F,Xu J S,Dong G X,et al. The progress of bacterial adhesion [J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine,2004,26(3):238-240. (in Chinese)

[16] 史冬艳,郝永清.奶牛乳房炎金黄色葡萄球菌疫苗研究进展[J].中国兽药杂志,2007,41(2):46-49.
Shi D Y,Hao Y Q. Development of the research for vaccine against bovine mastitis caused by *Staphylococcus aureus* [J]. Chinese Journal of Veterinary drugs,2007,41(2):46-49. (in Chinese)

[17] Haruyoshi T,Yasuyoshi I. Tissue-specific adherent *Enterococcus faecalis* strains that show highly efficient adhesion to human bladder carcinoma T24 cells also adhere to extracellular matrix proteins [J]. Infection and Immunity,2004,72(10):5877-5885.

[18] 陈国强,陆承平,姚火春.猪链球菌 2 型溶血素的提纯及其生物学特性[J].中国人兽共患病杂志,2001,17(5):75-77.
Chen G Q,Lu C P,Yao H C. Purification and biological characteristic of a hemolytic toxin of *Streptococcus suis* type2 of Jiangsu strain [J]. Chinese Journal of Zoonoses,2001,17(5):75-77. (in Chinese)