

设施蔬菜水肥高效调控的研究进展

符娜, 刘小刚*, 杨启良 (昆明理工大学现代农业工程学院, 云南昆明 650500)

摘要 设施蔬菜栽培由于受复种指数高、施肥量大、灌溉频繁、耕作制度和环境条件特殊的影响, 土壤出现次生盐渍化、结构破坏、酸化板结和养分不协调等问题, 不仅影响蔬菜商品效益和品质, 而且严重损害土壤生态、环境以及人体健康。所以, 加强设施蔬菜的节水灌溉及配套设施建设, 优化水肥管理, 合理调控水肥供应, 提高土壤生态环境与质量, 是实现设施蔬菜水肥最佳模式与配比和优质稳产的前提。概述了设施蔬菜的节水节肥和水肥调控效应的最新研究成果, 提出了要实现设施蔬菜的绿色、高效和可持续发展还需重点研究的几个科学问题。

关键词 设施蔬菜; 节水; 节肥; 调控效应

中图分类号 S274 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)31-12314-03

Research Progress on Efficient Regulation of Water and Fertilizer on Facilities Vegetable

FU Na et al (Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract Because of high multiple crop index, excess fertilization, frequent irrigation, particular farming system and environmental condition, serious problems of soil secondary salinization, structure failure, acidification hardening and nutrient dysequilibrium are popular in facilities vegetable cultivation. These not only influenced market yield and quality of facilities vegetable, but also cause a serious injury to soil ecological environment and human health. Strengthening water-saving irrigation and supporting facilities, optimizing water and fertilizer management, rational regulation supply of water and fertilizer, improving soil ecological environment and the quality, has become a prerequisite of optimal supply mode of water and fertilize and high quality and stable yield of vegetable. The latest research progress of water-saving, fertilizer-saving and regulation of vegetable water and fertilizer were summarized, and some scientific problems on the development of green, efficient and sustainable facilities vegetable were put forward.

Key words Facilities vegetables; Water-saving; Fertilizer-saving; Regulating effect

水分和养分不仅是影响作物干物质累积和经济产出的主要因素, 而且能有效调控作物的产量和品质。只有依据作物的需水需肥规律, 合理进行土壤水分调控, 以水调肥, 促进营养吸收, 优化水肥管理, 才能达到优质高产和水肥的高效利用。我国设施蔬菜发展迅速, 由 1980 年的不到 $0.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加至 2010 年的超过 $360 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 增长 500 多倍。为了增加蔬菜商品产量, 提高经济收入, 盲目投入大量水肥的现象非常普遍。山东省为设施农业发展大省, 仅在 1994 ~ 2004 年 10 年间, 设施蔬菜每茬氮肥的平均施用量达 $1\ 257 \text{ kg/hm}^2$, 大大超过蔬菜的实际需要, 造成肥料利用效率偏低, 同时对土壤和地下水存在潜在的污染威胁。与常规大田作物种植相比, 设施蔬菜栽培的环境较特殊。受复种指数高、施肥过多、频繁灌水、耕作制度特殊和相对封闭环境等的影响, 温室土壤次生盐渍化、结构破坏、酸化板结和养分平衡失调等问题比较突出。这不但影响蔬菜产量和品质, 而且严重破坏土壤生态环境和人体健康。设施蔬菜传统的水肥投入大多会造成土体硝态氮的淋失, 并且可能对地下水产生污染。加强设施蔬菜的水肥管理及科学供给, 合理调控水肥供应, 改善土壤生态环境与质量, 所以实现最佳水肥耦合模式成为设施蔬菜优质稳产和绿色发展的关键。

1 国内外现状

研究表明, 作物的水分利用具有较高的可塑性。非充分灌水能满足作物代谢需水, 提高作物的抗逆功能, 刺激作物

补偿吸水的性能, 因此能显著增加水分利用效率^[1-2]。调亏灌溉 (RDI) 和根系分区交替灌溉 (PRD) 是节水灌溉的 2 种典型模式。将 RDI 和 PRD 技术结合起来进行对比研究是节水灌溉的热点。

1.1 设施蔬菜节水调控效应 目前设施蔬菜的主要节水灌溉方式有沟畦灌溉、膜下灌溉、微灌和陶瓷管负压灌溉等方式。我国学者对设施蔬菜节水灌溉的水分利用效率、生理生长特性以及产量和品质做了较多研究, 而将节水灌溉和施肥相结合的研究较少。

通过节水模式和理论研究, 揭示不同节水模式对设施栽培蔬菜需水及土壤水分运动与分布的影响规律。节水灌溉能有效调控作物生长冗余, 调节光合产物在根冠间的比例和分配。PRD 能诱发番茄和辣椒叶片的水分保护机制, 阐明节水灌溉叶片水平上的节水机理^[3-4]。RDI 和 PRD 相结合的研究表明, 辣椒苗期适度水分亏缺, 开花座果期复水, 结果盛期和结果后期分别采用 RDI 和 PRD 能获得高产和较高的水分利用效率^[5]。苗期适度亏水可提高番茄坐果率, 畸形果减少, 但减小果实大小; 开花坐果期过度水分亏缺虽可促进果实成熟, 但降低坐果数, 易形成小果和畸形果; 收获期水分过高或过低均可降低番茄产量, 水分亏缺导致坐果数降低, 畸形果增加^[6]。对辣椒时空调控灌溉的研究表明, 亏水 25%、50% 和交替不亏水以及交替亏水 25% 的土壤平均体积含水量分别降低 21.06%、28.32%、24.48% 和 34.76%。DI 和 PRD 导致干物质累积量减少 7.29% ~ 44.10%, 冠层干物质累积量减少 24.97% ~ 47.72%; 与常规灌溉相比, DI 和 PRD 增加根冠比 12.50% ~ 35.42%; DI 和 PRD 会导致成熟单果重量和单果体积减小, 但提高可溶性固形物含量^[7]。在樱桃番茄生长前期采用交替沟灌, 结果期采

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (51109102、51009073) 和云南省应用基础研究资助项目 (2010ZC043)。

作者简介 符娜 (1990 -), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向: 农业水土工程。* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事节水灌溉理论与技术研究。

收稿日期 2013-09-06

用常规沟灌,能提高产量与品质,节水效果显著。亏缺供水能提高番茄叶片的葡萄糖和果糖含量,同时提高番茄的可溶性糖、有机酸及糖酸比,并促进植株的干物质生产和累积,而过度水分亏缺显著降低果实的形成和干物质生产。从经济、节水高效考虑,番茄生长前期和后期最佳的土壤水势最低控制为 20~60 kPa。研究表明,辣椒产量对果实成熟期的灌溉调控最为敏感,在成熟期不宜亏缺灌溉。辣椒果实的可溶性蛋白对灌溉调控的响应程度较低,而果实 V_c 、可溶性固形物含量(TSS)和硬度对灌溉调控的响应程度较高。辣椒开花坐果期的土壤水分控制在田间持水量(FC)的 45%~60%,苗期和果实成熟期控制在 FC 的 80%~90%,能在获得高产的同时大幅提高水分利用效率,同时显著增加果实 V_c 、TSS 含量和硬度。黄瓜单株产量、水分利用效率与商品率都随着供水吸力的增加先增后减,单株产量和商品率分别在土壤吸力为 3~9 和 3~5 kPa 时最高,3~5 kPa 时果实单宁含量在 0.05 水平显著高于 7~13 kPa 处理,但 TSS、 V_c 含量显著低于 7~13 kPa 处理,3~7 kPa 处理的果实硝酸盐含量显著低于 9~13 kPa 处理。因此,黄瓜优质高产时土壤体积含水量范围为 55%~81%^[8]。

国外关于 DI 和 PRD 等节水灌溉模式下蔬菜的生理生态、水分利用、产量及品质等研究较多。对番茄采用不同灌水方式的研究表明,正午时交替滴灌的叶水势最低,常规滴灌、常规沟灌、交替滴灌处理基本相同,其中交替滴灌的光合速率最小;各处理的产量和收获指数相当,其中交替灌溉的灌水利用效率最高,交替滴灌的 TSS 含量最大。交替灌溉可以提高番茄品质,提前成熟期,且不会影响干物质的生物量,表明交替灌溉在番茄生产中有很大的节水潜力。水分亏缺对番茄结果期的影响显著,产量、果实大小与土壤水分亏缺程度呈反比。研究发现,PRD 和常规灌溉下番茄产量差异不显著,PRD 提高水分利用效率约 56%。灌水量相同时 PRD 的产量比 RDI 高 7%~10%,并且 PRD 的经济产量(单果 >60 g)比 RDI 的高 10%~27%。在常规灌溉下番茄的茎叶干物质量、果实鲜重和地上干物质量均高于 DI 和 PRD,DI 和 PRD 分别提高叶面积指数 50% 和 22%,分别节水 26% 和 23%。RDI 显著降低了果实的直径。PRD 也降低了鲜果重,但没有显著降低果实的直径。RDI 和 PRD 处理的番茄果皮中细胞壁过氧化物酶活性在 0.05 水平显著高于充分灌溉。PRD 和 DI 的番茄灌溉水利用效率比充分灌溉的分别高 52.7% 和 38.3%。PRD 可以使番茄减产的幅度降到最小。DI 和 PRD 可节水 20%~30%,其中 PRD 可提高土豆的市场粒度分布要求,增加商品率 15%^[9]。研究还表明,RDI 可影响蔬菜的生理和生化过程,通过自身变化达到较高的水分利用率。

1.2 设施蔬菜的水肥耦合效应 水肥投入过多和利用率偏低是我国农业生产中面临的重大问题。如何制定科学的水肥管理模式,提高作物水分和养分的利用效率,达到调节作物生长的农田水肥环境是发展高效绿色农业迫切需要解决的关键问题。近年来,国内外学者对设施蔬菜的水肥耦合效

应报道较多,主要集中在不同水肥处理下产量、品质效应以及最佳的水肥配比方面。研究表明,优化氮素供应能保证番茄产量且节约施氮 48%;与传统灌溉相比,在主要生育期每次灌水至 FC 及固定灌溉处理分别减少灌水 46% 和 30%,分别减少氮肥施用 14% 和 10%,并能显著降低土壤植物系统中氮素的表现损失。调整 N、P、K 比例并减少其用量的配方施肥处理可保证番茄产量,且增加番茄果实可溶性糖含量,降低硝态氮和有机酸含量,改善果实品质,同时显著降低硝态氮、有效磷和速效钾在土壤中的过量累积,降低土壤盐分累积。在灌水量相同的条件下,常规施肥与配方施肥的番茄水分利用率无显著差异;而在施肥量相同的条件下,节水灌溉的水分利用率比常规灌溉明显提高^[10]。

水肥调控对设施蔬菜根区土壤生态环境效应的影响是近期研究的热点和难点。水肥供给顺序对番茄根系和产量的研究表明,施氮量显著提高整根的根长、根表面积、根体积、根干重以及各层土壤的根密度。当施氮量一定时,先施氮的根长大于先灌水处理,而根表面积、根体积和平均直径都小于提前供水处理。在番茄根区竖直土壤剖面上,提前供水的接近于地表根密度较大,而提前供氮使下层土壤的根密度增加^[11]。对设施栽培下黄瓜土壤养分和微生物变化特征的研究表明,随着施肥量的增加,土壤 NH_4^+ -N 含量同时增加,随着土壤含水量的增加,土壤 NH_4^+ -N 含量明显降低;水肥供给增加土壤的速效磷含量和蔗糖酶活性;肥料供给降低土壤的蛋白酶活性,土壤水分的降低增加脲酶活性。土壤微生物的多样性与脲酶活性呈显著正相关,而与蔗糖酶活性呈显著负相关,与土壤养分含量关系不大。研究发现,在番茄生长前期施肥,土壤剖面中的硝态氮分布较均匀;离施肥时间越远,0~20 cm 土壤硝态氮明显累积。硝态氮易随水流运动,在湿润体的横向外侧明显累积;提前施肥次序增加硝态氮向土壤湿润体外侧迁移;增加施肥频率会增加剖面内的硝态氮累积;氮回收效率随着施肥时间和生育期的延后而逐渐变大,增加施肥频率能提高氮肥利用效率。普通渗灌和节点渗灌对黄瓜的影响研究表明,保护地蔬菜栽培选用节点渗灌方法灌溉并进行灌溉施肥,能较好地发挥水肥耦合效应;与普通渗灌相比,节点渗灌能获得黄瓜高产,节肥效果更好。施氮量以 375 g/hm² 为宜。对设施黄瓜土壤养分、酶活性及微生物多样性的研究表明,土壤相对含水量为 70%~80%、追施量为 600 kg N/hm² 和 420 P₂O₅ kg/hm² 时土壤养分含量、蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性相对较大,和其他处理相比土壤的微生物均匀度和多样性最高,此时土壤的生产潜力最大^[12]。

国外学者对蔬菜水肥一体化报道较多,主要集中在不同水肥处理对产量、水肥利用效率及生理生态方面。研究表明,地下水肥一体灌溉抑制植株氮素累积量 12%~37%,施氮量和灌水量对植株磷的累积量影响不大;地下水肥一体灌溉可导致硝态氮淋失 5~35 kg/hm²;膜下滴肥结合地下滴灌可以显著增加番茄产量和水分利用效率。滴灌施肥和灌水频率对洋葱影响的研究表明,每月滴灌施肥 1 次在

收获期有较多的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 淋失,水分处理没有导致土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 明显淋失。滴灌施肥的频率对洋葱产量的影响不大,其中每天滴灌施肥处理的产量最大为 $28\ 740\ \text{kg}/\text{hm}^2$,隔日滴灌施肥的产量次之,为 $2\ 840\ \text{kg}/\text{hm}^2$,每月滴灌施肥一次的产量最低,仅为 $2\ 140\ \text{kg}/\text{hm}^2$;灌水量为 $564\ \text{mm}$,每天滴灌施尿素 $3.4\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 可以获得较高产量,同时不会导致土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失。番茄滴灌施肥比沟灌节氮 $20\% \sim 40\%$,省水 $31\% \sim 37\%$,增产 $3.7\% \sim 12.5\%$ 。滴灌施肥处理吸氮量比沟灌处理高 $8\% \sim 11\%$;沟灌处理的叶片气孔阻力大于滴灌处理;下位叶片的气孔阻力较小^[13]。5年的番茄沟灌试验结果表明,科学的氮肥管理可获得高产,并减少氮的淋失^[14]。基于土壤水分传感器的地下滴灌系统不但能较大提高番茄产量和灌溉水分利用效率,而且能降低灌水量和潜在的氮素淋失。

1.3 设施蔬菜的水肥调控效应 我国对设施蔬菜节水灌溉下的水肥耦合效应研究尚处于初级阶段。关于灌水或施肥单因素产生的效应研究较多,而将 2 个因素结合起来研究较少。研究不同生育期灌水水平和施氮量对茄子生长的影响,结果表明水分敏感指数的大小依次为盛果期 > 开花坐果期 > 初果期,盛果期的灌水水平对茄子的影响最大,该时期亏水不仅限制根系的生长和空间分布,而且降低产量;在低氮和中氮的条件下,开花坐果期的水分适度亏缺对茄子根系生长发育、产量的影响较小,同时能提高水分利用效率。与低氮和高氮相比,中等施氮水平有利于茄子根系的生长以及产量和水分利用效率的提高。部分根区灌溉能同时显著提高马铃薯的水分利用效率和土壤矿质氮的活性,有利于土壤氮素的吸收利用^[15]。

国外对节水调控灌溉下蔬菜的水肥耦合效应报道也不多。研究表明,常规充分灌溉下番茄产量最高为 $145\ 400\ \text{kg}/\text{hm}^2$,PRD 的产量次之,为 $114\ 600\ \text{kg}/\text{hm}^2$,RDI 的最小,为 $103\ 400\ \text{kg}/\text{hm}^2$;与常规充分灌溉相比,节水灌溉(RDI 和 PRD)的灌溉水分利用效率最高 (PRD > RDI);节水灌溉和常规充分灌溉的氮肥表现利用效率均超过 70% ;与常规充分灌溉相比,节水灌溉的叶水势、光合速率和气孔导度较低,而木质部—汁液脱落酸含量比常规灌溉的提高 $28\% \sim 38\%$,所以 PRD 是一种可行的节水灌溉技术。对马铃薯不同节水方式下土壤—植物系统的氮素动态研究表明,与常规灌溉相比,2006 年 PRD(亏水 30%) 可以获得相同的产量,而 2005 年节水灌溉(RDI 和 PRD) 导致明显的减产;2005 年在马铃薯收获期 PRD(亏水 30%) 的根区土壤氮素残留量比常规灌溉的低约 29% ,并且能提高叶片氮的含量;2006 年收获期 PRD 的根区土壤氮的残留量比充分供水的低约 33% ;2 年的结果都表明,PRD(亏水 30%) 在收获期根区土壤的残留量较小;与充分供水相比,RDI 和 PRD 在生长后期能够提高土壤氮素有效性。节水灌溉下土壤—植物系统氮的动态表明,与充分灌溉相比,PRD 下土豆收获时土壤氮的残留量减少 33% ,而在生长后期亏水处理提高反射植被指数和叶面积指数^[16]。

2 研究展望

实现设施蔬菜的优质高产和水肥高效调控还需做大量的研究工作。在保证或增加产量的基础上,实现水肥高效调控和改善蔬菜品质,以获得较高的经济效益。与水果品质评价指标体系不同,设施蔬菜需要进一步寻求并量化品质的评价指标体系如形状、颜色等外观品质,口感、TSS、可溶性糖、 V_c 等营养元素和特有微量元素含量的内在品质,并且针对蔬菜种类筛选水肥敏感品质指标。关于蔬菜产量形成的水分敏感期已有大量探索,但对于品质形成的敏感期尤其是综合考虑产量和品质二者敏感期的研究还不足。以前对设施蔬菜节水调控的研究主要集中在节水效应、节水机理以及不同节水方式的技术参数方面,而对于水肥高效调控机理以及优化的水肥供给模式研究较少。有关水肥高效调控条件下(水肥供给模式及水平)蔬菜生长的生理学机制、土壤生态环境的变化(水分、养分、盐分、酸碱度及微生物等)以及蔬菜不同生育阶段的水肥需求规律对其生长发育和品质的影响需系统研究,特别是设施环境下蔬菜对土壤水肥的吸收利用以及水肥高效调控下的节水灌溉方式、亏缺灌溉时期以及亏水程度等指标等少有系统研究。要实现设施蔬菜的水肥高效调控,还需研究根区水肥耦合迁移规律和转化机理,确立水分肥运动、水肥残留量与供水量、节水模式和施肥量的数量关系。建立节水灌溉下设施蔬菜的水肥生产函数,分析水肥—产量—品质的耦合关系,确定水肥—综合品质—产量综合生产函数,构建设施蔬菜节水调质的高效水肥决策方法,为设施蔬菜的水肥高效调控奠定理论基础和提供实践指导。

参考文献

- [1] CHAVES M M, MAROCO J P, PEREIRA J S. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant[J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30(3): 239–264.
- [2] EAPEN D, BARROSO M L, PONCE G, et al. Hydrotropism: root growth responses to water [J]. *Trends in Plant Science*, 2005, 10(1): 44–50.
- [3] 邵光成. 不同灌水模式下设施栽培作物节水机理与时空节水灌溉模式[D]. 南京: 河海大学现代农业工程学院, 2008.
- [4] 张娟. 辣椒时空节水灌溉最优模式试验研究[D]. 南京: 河海大学现代农业工程学院, 2008.
- [5] 邵光成, 刘娜, 陈磊. 温室辣椒时空节水灌溉需水特性与产量的试验[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(4): 117–121.
- [6] 刘浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2699–2704.
- [7] SHAO G, ZHANG Z, LIU N, et al. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 119: 11–16.
- [8] 李邵, 薛绪掌, 郭文善, 等. 供水吸力对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. *园艺学报*, 2010, 37(8): 1339–1344.
- [9] JENSEN C R, ADRIANO B, FINN P, et al. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 98(3): 403–413.
- [10] 周博, 陈竹君, 周建斌. 水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分含量的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(4): 58–62.
- [11] 栗岩峰, 李久生, 饶敏杰. 滴灌施肥时水肥顺序对番茄根系分布和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 205–207.
- [12] 韦泽秀, 梁银丽, 井上光弘, 等. 水肥处理对黄瓜土壤养分、酶及微生物多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(7): 1678–1684.
- [13] SINGANDHUPE R B, RAO G G S N, PATIL N G, et al. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.) [J]. *Europ. J. Agronomy*, 2003, 19: 327–340.

(下转第 12331 页)

行统计与分析,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 2种哺乳方式对羔羊体增重和平均日增重的影响

表1 2种哺乳方式下羔羊的平均体重和平均日增重

哺乳方式	初生重	1月龄体重	3月龄体重	1月龄内日增重	3月龄内日增重
自然哺乳	3.440±0.107a	6.719±0.336a	15.010±0.555a	0.109±0.009a	0.129±0.005b
人工哺乳	3.407±0.124a	6.650±0.162a	15.435±0.483a	0.108±0.004a	0.134±0.004a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 2种哺乳方式对腹泻率的影响 在试验期间自然哺乳组与人工哺乳组均出现羔羊腹泻症状且持续时间不一。从表2可以看出,1月龄内自然哺乳腹泻率1.33%,低于人工哺乳(2%);1~3月龄、0~3月龄的自然哺乳腹泻率分别为1.83%和1.67%,均高于同期的人工哺乳组。

表2 2种饲养方式对羔羊腹泻率的影响

哺乳方式	0~1月龄	1~3月龄	0~3月龄
自然哺乳	1.33	1.83	1.67
人工哺乳	2.00	1.17	1.44

3 讨论与结论

3.1 不同哺乳方式对羔羊体增重和日增重的影响 30日龄前,初生羔羊的皱胃、网胃、瓣胃都还很小,结构尚未发育完善,微生物区系也不够健全,利用代乳粉的能力较弱,故人工哺乳的羔羊生长发育不如自然哺乳的羔羊好^[6]。这与笔者发现1月龄体重、日增重在人工哺乳条件下不如自然哺乳效果好相吻合,但结果并不存在显著差异($P > 0.05$)。30日龄以前,自然哺乳的羔羊平均日增重为109g,高于人工哺乳组的108g。代乳粉中含有羊奶中稀缺的优质植物性营养物质,并且含有少许纤维成分,能够促使小羔羊消化系统(特别是瘤胃)的不断发育完善。虽然前期代乳粉不利于羔羊的消化吸收,导致生长发育缓慢。但随着日龄的增加,消化道逐渐健全,也越来越习惯于吸吮代乳粉冲剂,消化吸收能力大幅加强,尤其是试验后期(接近90日龄)人工哺乳组表现出明显的生长优势,体重、体长等都明显高于自然哺乳组的羔羊^[7],但笔者发现3月龄体重在2组间并无显著差异($P > 0.05$),而人工哺乳组3月龄内日增重显著高于自然哺乳组($P < 0.05$)。这可能随着羔羊的不断生长羊乳中的营养成分达不到满足羔羊生长发育所需要的营养有关,而人工饲养代乳粉则能弥补这些不足,给羔羊以更全面的营养物质,促使羔羊反刍提前,促进胃肠生长和瘤胃机能完善。这说明在不同的生长阶段崂山奶山羊羔羊有不同的营养需要,以后有必要对羔羊不同生长阶段的营养需要进行深入研究。

3.2 不同哺乳方式对羔羊腹泻率的影响 羔羊出生后必须

表1可知,不同哺乳方式下崂山奶山羊母羔羊1月龄体重、3月龄体重和1月龄内日增重无显著差异($P > 0.05$),但人工哺乳组3月龄内日增重显著高于自然哺乳组($P < 0.05$)。

吃母羊1~3d内分泌的“初乳”。“初乳”营养价值高,蛋白质是常乳的4~5倍,维生素的种类齐全,并含有羔羊不能合成的维生素,微量元素也很丰富^[8]。“初乳”中的镁盐具有轻泻作用,促进胎便排出。同时,“初乳”中含有常乳所不具有的免疫球蛋白能够增加羔羊的免疫力与抵抗力,增加羔羊体质。

30日龄以前,自然哺乳的羔羊随着母羊的生长发育,初乳吃得充足,虽然人工哺乳的羔羊在出生后也让其吃到初乳,但在量上是不能与自然哺乳的羔羊相比,因此其抵抗力比自然哺乳的羔羊要弱。这与该研究在1月龄期间人工哺乳条件下羔羊腹泻率为2%,高于对照组的结论是吻合的。1~3月龄内,由于人工哺乳的羔羊获取的营养比自然哺乳的高,生长发育速度快,因此抵抗力大幅提高,腹泻、发烧等常见疾病症状大大减少,羔羊体况与自然哺乳组的羔羊不相上下,甚至有超过自然哺乳组的趋势。该研究结果也表明1~3月自然哺乳组发生腹泻现象比较集中,达到1.83%,腹泻率高于人工哺乳组,这也与岳喜新等研究结果相吻合^[9]。如何再降低人工哺乳羔羊的腹泻率,还需要进一步研究。

从日增重和腹泻率来看,崂山奶山羊母羔羊1月龄以前自然哺乳的效果优于人工哺乳,但是0~3月龄内人工哺乳的整体效果明显好于自然哺乳。

参考文献

- [1] 刁其玉,屠焰.羔羊代乳品的研制与应用效果研究[J].中国草食动物,2012(2):9-12.
- [2] 罗军,刘光武.奶山羊发展现状与产业化前景展望[J].新农业,2011(10):24-25.
- [3] 张乃峰,刁其玉,陈有武,等.羔羊代乳粉对羊羔羊生长发育的影响[J].饲料博览,2010(9):21-23.
- [4] 郭敏增,郑成江,宋桂敏,等.代乳粉对早期断奶羔羊生长及健康状况的影响[J].天津农业科学,2011,17(3):50-53.
- [5] 岳喜新,刁其玉,马春晖,等.饲喂代乳粉对羔羊生长性能和血清生化指标的影响[J].饲料工业,2011,32(1):20-23.
- [6] 常新粗,方靖.代乳粉对羔羊生长发育的效果试验[J].黑龙江畜牧兽医,2008(8):41-43.
- [7] 目宏,马吉峰,韦学玉,等.两种不同营养水平的代乳粉对羔羊生长性能的影响[J].饲料广角,2007(11):23-26.
- [8] 江喜春,陈胜,程广龙,等.不同代乳粉哺育早期断奶湖羊羔羊的效果[J].草食家畜,2010(3):55-57.
- [9] 岳喜新,刁其玉,马春晖,等.代乳粉蛋白质水平对早期断奶羔羊生长发育和营养物质代谢的影响[J].中国农学通报,2011,27(3):268-274.

(上接第12316页)

- [14] TAO R N, CHRISTIE P, WANG J G, et al. Root zone soil nitrogen management to maintain high tomato yields and minimum nitrogen losses to the environment[J]. Scientia Horticulturae 2010,125:25-33.
- [15] 李平,齐学斌,樊向阳,等.分根区交替灌溉对马铃薯水氮利用效率的

影响[J].农业工程学报,2009,25(6):92-95.

- [16] SHAHNAZARI A, AHMADI S H, LAERKE P E, et al. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(2):65-73.