

果园养鸡立体农业生产模式对土壤钙素营养及苹果品质的影响

王 浩,王益权,焦彩强,祝飞华,张润霞
(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了探求果园养鸡立体农业生产模式的科学性及可持续性,以渭北旱塬养鸡苹果园土壤作为研究对象,以同一地区普通果园作为对照,研究了两种果园土壤 pH 值、土壤碳酸钙及水溶性钠、钙含量及苹果果实密度、果形、硬度、可溶性固形物和可滴定酸等果品质量指标。结果表明,果园养鸡降低了表层 0~10 cm 土壤的 pH 值,增大了亚表层土壤 pH 值;增大了 0~50 cm 土层土壤碳酸钙的递减速度,仅 5 年时间果园养鸡使 0~50 cm 土层土壤钙密度比对照果园减少了 CaCO_3 $17.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,平均年递减速率比普通果园高 CaCO_3 $0.259 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。果园土壤剖面 0~50 cm 水溶性钙显著增大,在现阶段促使提高了果品质量指标。从上述结果可以得出,从目前目标出发果园养鸡在促进果品生产方面已产生了积极的作用和效果,但从土壤钙素流失及退化的速度看,对地区果业健康可持续发展产生了一定的隐患,值得给予极大关注。

关键词: 立体农业;果园养鸡;土壤钙退化;苹果品质
中图分类号: S153.6⁺1; S661.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)04-0178-05

Effects of chicken-raising stereoscopic agriculture in orchards on soil calcium nutrient and apple quality on Weibei Dryland

WANG Hao, WANG Yi-quan, JIAO Cai-qiang, ZHU Fei-hua, ZHANG Run-xia
(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to evaluate the suitability and sustainability of chicken-raising stereoscopic agriculture in orchards, the soil pH, content of soil calcium carbonate, content of soil soluble calcium and sodium, fruit density, shape, firmness, soluble solid and titratable acid were compared between chicken-raising orchards and common one (the control) on WeiBei Dryland. The results showed that the mode of chicken-raising in orchards decreased the pH in surface layer (0~10 cm), but increased it in subsurface layer. Under the mode of chicken-raising in orchards, the dissolution rate of CaCO_3 in 0~50 cm soil layer was promoted. The soil calcium density in chicken-raising orchards declined by CaCO_3 $17.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ in 5 years compared with the control, and the decreasing rate of soil calcium density in chicken-raising orchards was CaCO_3 $0.259 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. The content of soluble calcium in 0~50 cm soil profile was significantly increased, and the fruit quality was also improved. To sum up, chicken-raising in orchards have made a positive effect in improving fruit production currently. However, from the viewpoint of soil calcium loss and degradation, great concerns should be paid to the healthy and sustainable development of fruit industry.

Keywords: stereoscopic agriculture; chicken-raising in orchard; apple quality; soil calcium degradation

在当今人口不断递增,土地面积缩减的时代背景下,迫切需要寻求在一定土地面积内充分利用时间、空间以及光、热、水、气资源,建立多层次配置、多种生物共处的立体种植、立体养殖或立体种植与养殖相结合的高产、高效土地经营模式。在各地探索和推行的众多立体农业模式当中,果园养鸡被认为是一种典型的生态果园-生态养鸡经营模式,并且已有研究成果表明果园养鸡具有充分利用林间土地

收稿日期:2013-08-22
基金项目:农业部科技教育司“苹果园沼肥应用技术研究及示范”(K312021012)
作者简介:王 浩(1988—),女,贵州贵阳人,硕士,研究方向为土壤条件与食品安全。E-mail: wanghaogirl@nwsuaf.edu.cn。
通信作者:王益权(1957—),男,陕西旬邑人,博士,教授,主要从事土壤物理与改良方面的研究。E-mail: soilphysics@163.com。

空间,降低饲养鸡经济成本的优势,同时通过种养结合、鸡吃虫草、鸡粪还田,提升了果园土壤肥力,减少了果园施肥、病虫害及杂草的防治成本等^[1]。果园养鸡立体农业经营模式对土壤质量以及果品质量的作用与影响研究至今却鲜见报道。

众所周知,禽蛋壳是由碳酸钙和有机化合物形成的一种生物矿物,家禽体内在 20 h 内需要沉积大约 5 g 碳酸钙,若从食物中得不到补给,钙的沉积过程会在 15 min 内耗尽所有血液中的所含钙素,从而导致禽体内酸碱平衡被破坏,禽类的嚼土行为就是为了补充体内钙素。另外,蛋壳形成过程中会释放质子(H^+),导致禽体内酸液过多,产蛋母鸡会依靠急促的呼吸和肾脏将质子排出体外,因此产蛋母鸡的尿液呈酸性^[2],该酸性尿液会促使果园土壤碳酸钙溶解从而导致钙素淋失。苹果又是一种高钙植物,土壤钙素缺少会导致果树患 40 多种病害^[3],严重影响果品的产量和硬度等,因此维系果园土壤钙素平衡是果园可持续发展的重要举措。立体农业只有建立在生物种群之间优势互补、能够共生、多层次结构和多级物质循环利用的基础上才能达到可持续发展的目的。基于上述分析,探索果园养鸡与土壤化学质量退化的发生关系及其对土壤退化速度的作用状况显得极为迫切。作者以渭北旬邑苹果园养鸡土壤为研究对象,探索该立体农业模式对土壤化学质量的影响及对果实品质的影响,以便为进一步建立科学合理的立体种养模式提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验果园位于陕西省渭北旱塬苹果主产区旬邑县赤道乡,海拔 1 322 m,位于 $35^{\circ}11'18N$, $108^{\circ}20'26E$ 。该苹果园已有 20 年园龄,苹果品种为富士,在果园实施养鸡已有 5 年时间,具体措施为白天在果树行间散养产蛋鸡,夜晚回笼。由于渭北地区苹果园养鸡现象少,处理重复量有限,为了保证样品的代表性及试验的科学性,探索养鸡对果园土壤化学质量的退化作用与影响,本试验选择了与研究果园同龄、果树品种相同栽培和管理水平相同的相邻苹果园作为对照(CK),供试土壤类型均为黑垆土(系统分类名称为堆垫干润均腐土, Cumuli - Ustic Isohumosols)。供试果园占地共计 0.20 hm^2 ,其中供鸡群活动面积 0.14 hm^2 ,养鸡数量变化在 800 ~ 1 000 只左右,生产绿色鸡蛋,将饲养鸡区域分为两块,轮回交替作为鸡群活动场地。

1.2 样品采集及处理方法

土样采集:在果树树冠投影范围内距树干 2/3 处,用土钻按照 10 cm 的间距在土壤剖面 0 ~ 50 cm 范围内逐层采集土样,在研究果园和对照果园内各随机采取了 3 个果树剖面点,作为重复,将相同土层样品再混合成农化样品,土样采回后置于无尘的干燥室内风干,用四分法取部分样品,研磨过 1 mm 筛,保存待测。

果样采集:在两个果园中选择树势相近的果树,于东、西、南、北四个方向树冠中层挂果枝条外侧,挑选发育正常、健康无伤口的果实带果柄摘下,分株采集苹果。果样采回后用酒精擦净果表皮,放入 4℃ 冰箱中冷藏保存待测。

1.3 测定项目及方法

测定项目:土壤 pH 值、土壤容重、土壤碳酸钙和土壤水溶钙、土壤水溶性钠;果密度、果实硬度、可溶性固形物及可滴定酸。

测定方法:土壤 pH 值使用 SX711 型 pH 计测定;土壤容重测定采用环刀法;土壤碳酸钙含量采用气量法测定;土壤水溶钙、水溶钠选用水土比 5:1 浸提,钙离子用 EDTA 滴定法测定,钠离子用火焰光度计直接测定^[4]。果实体积选用排水法,硬度采用 GY - 1 型手持便携式硬度计测定,可溶性固形物测定选用 PAL - 1 型手持糖度仪,可滴定酸采用滴定法测定^[5]。

2 结果与分析

2.1 果园养鸡对土壤 pH 值的影响

土壤酸碱性既是影响作物生长的主要因素,也是反映人为因素和环境因素对土壤化学质量作用的主要指标。对于苹果树而言,一般要求土壤为中性至微酸性^[6]。图 1 显示出渭北果园无论养鸡与否,其土壤的 pH 值均在苹果树适宜生长的范围以内,但是,果园养鸡却显著地改变了土壤的 pH 值。与对照相比,养鸡果园表层 0 ~ 10 cm 土壤的 pH 值下降了 0.2 个单位,10 ~ 50 cm 处土壤 pH 值却又显示出升高趋势,在 10 ~ 40 cm 以内差异达到显著水平。这缘于在母鸡体内蛋壳形成过程中会释放出质子,致体内酸液过多,质子依靠肾脏排出体外,产蛋母鸡在蛋壳钙化过程中,尿液呈现明显的酸性^[2]。鸡群向果园土壤排放酸性粪便后,导致土壤表层被酸化,虽然由黄土母质发育的土壤具有很强的缓冲容量,但是在大量鸡粪的长期作用下,土壤表层 pH 值下降。另外,在鸡体内同样需要钠离子和氯离子平衡血液电解质,鸡体内如果缺乏盐,严重者会导致生长

发育缓慢、骨质变软、角膜角质软化等^[7]。已有研究显示,缺乏钠离子会增加雏鸡间的相互啄食现象^[8],因此,在鸡饲料中普遍配有食盐添加剂,调查获知即使绿色鸡蛋生产过程中也不例外。相关文献还证实,碳酸氢钠常被添加在蛋鸡的饲料配方中,用以提高种蛋质量及孵化效率^[9],另外,双乙酸钠作为饲料防腐保鲜添加剂在鸡饲料中也有所应用^[10]。鸡饲料中含钠盐添加剂,使得鸡体内将摄入的钠离子等致碱物质通过粪便排出。随粪便和尿液排入土壤中的质子和钠离子随雨水向土壤深层迁移能力有所不同,质子易被土壤胶体吸附,钠离子则易移动并在下层土壤聚集,因此出现了养鸡果园上层土壤 pH 值减小,而下层土壤 pH 值增大的现象。如图 2 所示,养鸡果园的 Na⁺ 在 10~30 cm 土层出现聚集,远远高于未饲养蛋鸡的对照果园,足以证明鸡摄入的钠离子最终通过粪便排泄进入土壤并影响了土壤 pH 值。

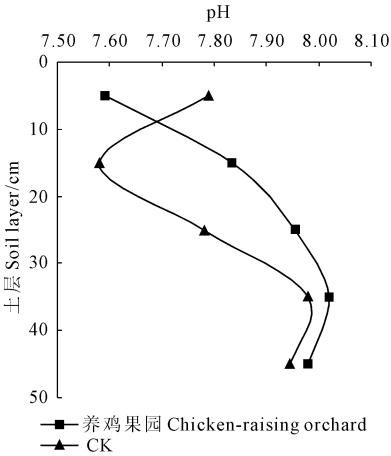


图 1 果园养鸡土壤 pH 值的变化情况
Fig.1 Changes of soil pH in orchards

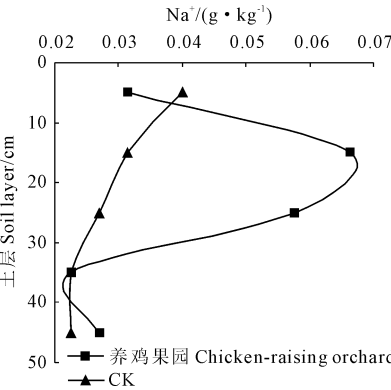


图 2 钠离子在土壤剖面中的分布
Fig.2 Distribution of Na⁺ in soil profiles

2.2 果园养鸡对土壤剖面上碳酸钙分布的影响

黄土地区土壤普遍存在着碳酸钙淋溶与淀积的钙化过程,碳酸盐的分化表征土壤的演化进程,果园

养鸡似乎加速了土壤的钙化作用,促进了土壤碳酸钙的分化和土壤钙素的退化过程。众所周知,石灰性土壤只有在酸性条件下会发生石灰反应,使难溶性的碳酸钙溶解,释放出 CO₂,促进钙素向土壤深层迁移。图 3 清楚地显示,养鸡果园土壤在 0~50 cm 剖面上碳酸钙含量明显低于对照果园,在 0~10 cm 土层和 20 cm 以下各层土壤碳酸钙明显低于对照果园,尤其在 30 cm 以下土层碳酸钙含量与对照果园相比减少了 20 g·kg⁻¹,剖面上碳酸钙的递减足以证明果园养鸡促进了土壤钙库的贫瘠化。

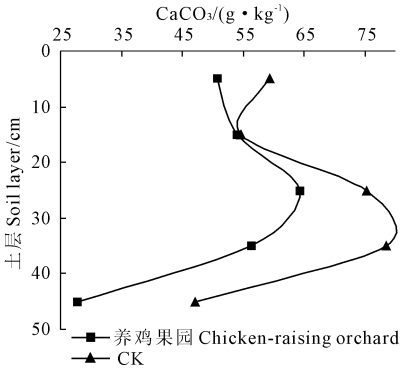


图 3 土壤 CaCO₃ 在剖面中的分布
Fig.3 Distribution of CaCO₃ in soil profiles

为了更加直观地显示果园养鸡对土壤脱钙的作用与效应,以土壤碳酸钙含量、土壤容重和土体中 > 2 mm 石砾(非石灰质颗粒)的体积分数为基础,通过式(1)计算 H 厚度土层内的土壤钙密度。

$$S_{Ca} = H \times \rho_b \times M \times (1 - \delta\%) \times 10^{-1} \quad (1)$$

式中, S_{Ca} 为碳酸钙密度(kg·m⁻²); M 为土壤碳酸钙含量(%); H 为土层厚度(cm); ρ_b 为土壤容重(g·cm⁻³); δ 为直径 > 2 mm 的石砾含量(体积%)。对于具有 n 个土层的土壤剖面而言,其土体范围内的土壤总钙密度 ST_{Ca}(kg·m⁻²) 的计算公式(2):

$$ST_{Ca} = \sum H_n \times \rho_{bn} \times Mn \times (1 - \delta\%) \times 10^{-1} \quad (2)$$

就供试土壤而言,直径 > 2 mm 石砾的体积分数为零,分别依据公式(1)和(2)计算供试果园 0~50 cm 土层的土壤钙总密度,结果见表 1。同时,以该地域 1982 年土壤普查数据为参照依据^[11],估算当年农田土壤 0~50 cm 土层的钙密度,分析从农田改植果后,在植果期间土壤碳酸钙的递减情况。由表 1 得知,1982 年果园 0~50 cm 土层总钙密度为 CaCO₃ 48.95 kg·m⁻²,在 30 年后对照果园土壤的总钙密度下降了 CaCO₃ 9.79 kg·m⁻²,而养鸡果园土壤则下降了 CaCO₃ 17.55 kg·m⁻²,首先说明农业产业结构调整,0~50 cm 土层土壤脱钙现象较为明

显,果园养鸡则更加剧了土壤钙素的退化进程,考虑到果园养鸡只有 5 年的历史,与对照果园相比,养鸡措施使 0~50 cm 土壤平均每年的脱钙率增加 CaCO_3 $0.259\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。赵成爱对鸡粪成分的研究结果表明,工厂化养鸡由于其饲料基本以作物及其加工

制品为主,添加剂种类单一,减少了鸡摄入碳酸盐、重碳酸盐的途径^[8],从另一个角度反映了果园散养鸡群,使鸡嚼土吸收土壤钙和鸡粪中酸性物质对碳酸钙的溶解双重效应,导致土壤碳酸钙显著减少,这种现象在果园可持续生产过程中值得关注。

表 1 果园土壤钙密度及其变化情况
Table 1 Soil calcium density in different soil depth of orchards

处理 Treatments	土壤钙密度 Calcium density/(kg·m ⁻²)					0 ~ 50 cm 土壤脱钙速率 Decreasing rate of soil calcium density in 0 ~ 50 cm /(kg·m ⁻² ·a ⁻¹)	
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	30 ~ 40 cm	40 ~ 50 cm	0 ~ 50 cm	
养鸡果园 Chicken-raising orchard	6.03A	6.70a	7.99a	6.98A	3.71A	31.40A	0.585
对照果园 Control orchard	7.06B	6.77a	9.33b	9.73B	6.28B	39.16B	0.326
1982 年农田 * Farmland in 1982	8.07	8.41	8.78	11.43	12.26	48.95	—

注: * 来源于陕西省咸阳市第二次全国土壤普查数据集。不同小写或大写字母分别表示处理间在 5% 或 1% 水平下的差异显著,下同。
Note: * Source from the Second National Soil Survey Data Set in Xianyang City, Shaanxi Province. Different lowercase letters or capital letters indicate significance at $P<5\%$ or $P<1\%$ level, respectively. The same below.

2.3 果园养鸡对土壤水溶性钙的影响

土壤中钙元素的存在形态包括水溶态、交换态、无机态、有机结合态和残渣态等。其中土壤水溶性钙对植物的活性最高,最有效,移动性强。土壤中碳酸钙只有在被溶解活化为水溶性钙或交换性钙以后,才能被植物有效吸收。图 4 显示出 0~50 cm 土层养鸡果园土壤水溶性钙含量显著高于对照果园,

在 10~20 cm 和 20~30 cm 土层,养鸡果园土壤水溶性钙含量分别低于对照果园 $1.27\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.87\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,说明果园养鸡加速了土壤钙素的活化,增加了对果树的钙素供给,仅当前而言,它改善了果树对土壤钙素的吸收和果品质量的提高,但从长远看,这个作用也必然会加速土壤缺钙的进程。

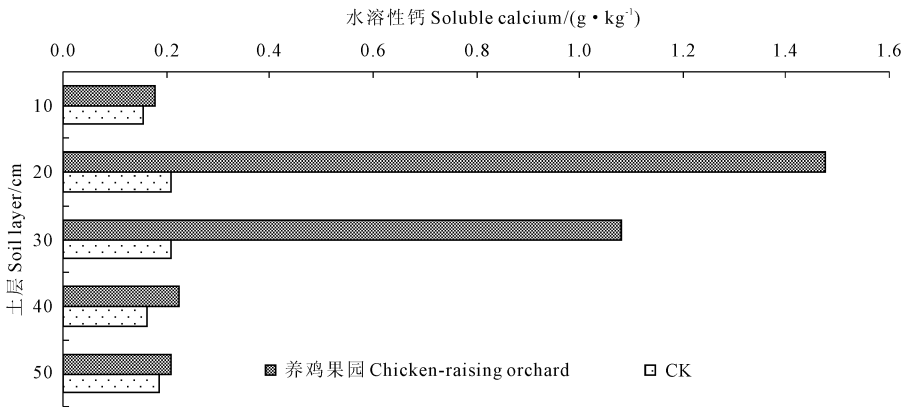


图 4 土壤水溶性钙在剖面上的分布
Fig.4 Distribution of soluble calcium in soil profile

养鸡果园土壤水溶性钙增加的原因也与鸡粪对土壤碳酸钙的溶解和鸡体内对钙素的代谢与排放有直接的关系,已有资料显示,鸡粪中钙元素含量为 $54.36\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[13]。

2.4 果园养鸡对苹果质量的影响

既然果园养鸡改变了土壤钙素供给,也必然会对果品质量产生明显作用。在众多果实品质指标

中,选择与土壤钙素供给密切相关的果品质量指标作为研究对象,以便探求果园养鸡对果品质量的影响情况(见表 2)。其中果实密度体现果实大小和内在质量,直接决定着果实产量;果形通过分级评定,果形指数在 0.6~0.8 为扁圆形,0.8~0.9 为圆形或近圆形,0.9~1.0 为椭圆形或圆锥形,1.0 以上为长圆形。果肉硬度不仅影响鲜食时的口感,也与果实

的贮藏和加工性状等重要性质有关。苹果果肉的硬度与细胞壁中的纤维素含量、细胞壁中胶层内果胶类物质的种类和数量以及果肉细胞的膨压等密切相关。苹果中可溶性固形物是指所有溶解于水的化合物的总称,包括糖、酸、维生素、矿物质等;可溶性固形物含量不仅影响苹果的营养和口味,而且直接影响苹果的冰点,进而影响储藏条件;苹果中酸含量则影响苹果的加工适用性^[14]。表 2 清楚地显示,养鸡果园的果品质量显著地高于对照果园,其中密度、硬度、可溶固形物达到极显著水平。本试验中的果实可溶性固形物的含量增加,该指标变化趋势与土壤状况的关系与鄢新民等^[1]的研究结果一致;贾晓辉等研究苹果苦痘病与果实中矿物元素的关系时发

现,Ca 含量与可溶性固形物含量呈极显著负相关,N、B 和 K 与可溶性固形物呈极显著正相关,P 与可溶性固形物呈显著正相关^[15];钙元素又是影响果实硬度的重要元素^[16],既能提高果实硬度,也是提高可滴定酸的主要元素之一^[17]。可溶性固形物是由于土壤中的有效养分如 N、P、K 等元素的增加而提高。结合 5 大品质指标变化来看,家禽在果园中的活动不仅促进了土壤中碳酸钙的溶解,增加了水溶性钙的含量,提高了果树根系中 N、B、K、P 等可溶性元素的含量,这当然与鸡粪直接进入土壤有关。短时期内,苹果园中饲养鸡群能够提高土壤中钙元素的活性,提高果实中的钙含量。

表 2 不同果园苹果五项品质指标
Table 2 Five quality indicators of apple in different orchards

处理 Treatments	密度/(g·cm ⁻³) Density	果形指数 Fruit shape index	硬度/Pa Hardness	可溶性固形物/% Soluble solid	可滴定酸/% Titratable acid
养鸡果园 Chicken-raising orchard	0.86A	0.89a	11.23A	14.52A	0.31a
对照果园 Control orchard	0.80B	0.82a	9.01B	12.43B	0.23b

3 结 论

受鸡群生理代谢和鸡饲料的综合作用和影响,养鸡果园土壤存在着表层土壤酸化和亚表层土壤适度碱化的双重过程,养鸡加速了 0~50 cm 土壤碳酸盐的递减过程,仅 5 年的果园养鸡,在 0~50 cm 土壤剖面上土壤碳酸钙递减量较对照果园增大了 CaCO₃ 17.75 kg·m⁻²;养鸡果园土壤剖面上水溶性钙含量显著高于对照果园,鸡群在果园中的活动溶解了土壤中的碳酸钙,提高土壤水溶性钙含量,极大地改善了土壤对果树钙素供给条件,使得养鸡果园果品的密度、果形指数、果肉硬度、可溶性固形物以及可滴定酸度等质量指标均显著地高于对照果园,这些现象就目前现状而言,改善了果品的质量,产生了积极的作用和影响;但就长远观点来看,此措施溶解了土壤剖面上的碳酸钙,加速了土壤的钙素退化进程,为地区果树可持续发展埋下一定的隐患,值得进一步关注。

参 考 文 献:

[1] 鄢新民,冯建忠,王献革.生态果园养鸡立体种养模式的探索[J].今日畜牧兽医,2006,(4):38.
[2] 崔福斋.生物矿化[M].北京:清华大学出版社,2007:22-25.
[3] 束怀瑞.苹果学[M].第一版.北京:中国农业出版社,1999:366.

[4] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,1999.
[5] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
[6] 汪景彦.苹果优质生产入门到精通[M].北京:中国农业出版社,2001:21.
[7] 李玉兰.钠和氯在鸡营养中的作用[J].养禽与禽病防治,1999,(4):24-25.
[8] Е. М. Кожевников, А. И. Тишков.李光辉译.钠、钾在母鸡发生互相啄食中的作用[J]. ВЕТЕРИНАрия,1987,(12):90-91.
[9] 王瑞云,曲延田.碳酸氢钠用作蛋鸡饲料添加剂的效果[J].中国家禽,2003,25(17):18-19.
[10] 杜学谦,刘志国,翁焕民.双乙酸钠在鸡饲料中的应用[J].中国饲料,1993,(1):11-12.
[11] 陕西土壤普查办公室.陕西土壤[M].北京:科学出版社,1993.
[12] 赵成爱.工厂化养殖鸡粪的成分及肥效研究[D].吉林:吉林农业大学,2005.
[13] 张树清.规模化养殖畜禽粪有害成分测定及其无害化处理效果[D].北京:中国农业科学院,2004.
[14] 白沙沙,毕金峰,方 芳.苹果品质评价技术研究现状及展望[J].食品科学,2011,3(32):286-290.
[15] 贾晓辉,王文辉,王荣华.秋锦苹果苦痘病与果实矿质元素含量和品质相关性的研究[J].北方园艺,2010,(20):39-41.
[16] 李丽梅,关军锋,杜纪社.田间喷钙对红富士苹果贮藏品质的影响及其机理[J].河北农业大学学报,2010,(5):50-53.
[17] 苗 林.五种矿质元素配比施肥对红富士苹果产量和品质的影响[D].西安:陕西师范大学,2009.