

# PAM 与尿素混施对渭北旱塬苹果生长及产量品质的影响

张春强<sup>1,2,3</sup>, 冯浩<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 淮河水利委员会, 安徽 蚌埠 233001)

**摘要:** 为深入了解保水剂聚丙烯酰胺(PAM)在旱地果园中的作用和效果, 确定田间应用技术参数, 以生长 17 a 的富士苹果树为试材, 采用二因素四水平完全随机设计, 研究了 PAM 与尿素混施对渭北旱塬土壤及苹果树生长、产量及品质的影响。结果表明: 新梢生长量、单果重和果实横径随着尿素施用量的增加而增大, 百叶重和产量随着尿素施用量的增加先增大后减小; 新梢生长量、单果重、果实横径和产量随着 PAM 用量的增加总体上表现出先增大后减小的趋势, 并在 PAM 为 0.25 kg·株<sup>-1</sup> 水平表现出最大值; 果实中含酸量在 PAM 为 0.15 kg·株<sup>-1</sup> 水平下相对较低。综上, 在渭北旱塬苹果园推广 PAM 与尿素混施时, 推荐 PAM 与尿素最佳配比为尿素 1.36 kg·株<sup>-1</sup>、PAM 0.25 kg·株<sup>-1</sup>。

**关键词:** 聚丙烯酰胺(PAM); 尿素; 渭北旱塬; 苹果

中图分类号: S661.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)04-0174-04

## Effects of PAM mixed with urea on apple yield and quality in Weibei rainfed highland

ZHANG Chun-qiang<sup>1,2,3</sup>, FENG Hao<sup>1,2</sup>

(1. *Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*;  
3. *Huaihe River Commission, Bengbu, Anhui 233001, China*)

**Abstract:** With the purpose of understanding the effect of PAM in dryland orchard, and defining its technical parameters for field application in Weibei rainfed highland, this study used the 17-year-old fuji apple trees as test material, employing completely randomized design with two factors and four levels, with emphasis on the effects of PAM mixed with urea on apple yield and quality. The results showed that the shoot length, single fruit weight and the fruits' transect diameter increased with the increase of urea amount. The weight of 100 leaves and the fruit yield increased at first, and then decreased with the increase of urea amount. The shoot length, single fruit weight, the fruits' transect diameter and the fruit yield increased at first, peaked at 0.25 kg per plant, and then decreased with the increase of PAM amount. The acid content was lower at the rate of 0.15 kg PAM per plant. Accordingly, we suggest that the suitable ratio of PAM and urea be 0.25 kg and 1.36 kg per plant, respectively.

**Keywords:** PAM; urea; Weibei rainfed highland; apple

陕西渭北旱塬是中国著名的优质苹果生产基地,同时也是全国主要苹果产区中唯一符合最适宜区七项气候指标的优生区<sup>[1-2]</sup>,但是由于近几年发展迅猛,大规模商品化栽培历史较短,缺乏对苹果合理施肥的深入研究,片面追求高产,盲目大量施用氮肥,虽然在一定程度上使果实产量得以提高,但同时也造成肥料利用率下降、果实品质降低、生态环境恶

化等不良后果<sup>[3]</sup>。张义等<sup>[4]</sup>研究发现黄土沟壑区王东沟流域苹果品质的最主要限制性生态因子为土壤全氮,所以关于果园的合理施肥问题仍需进一步研究。另外资源性缺水也是渭北旱塬主要环境特征之一,在苹果整个生长周期中,维持果树生长和果实持续生产需要消耗大量水分,这势必加剧渭北旱塬水分供需矛盾,以至于部分果园出现了以土壤干层为

收稿日期: 2013-05-05

基金项目: “十二五”国家 863 计划项目(2011AA100503); 高等学校学科创新引智计划资助(B12007)

作者简介: 张春强(1987—), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要研究方向为水土资源高效利用。E-mail: chunqiang622622@163.com。

通信作者: 冯浩(1970—), 男, 陕西延安人, 博士, 研究员, 主要研究方向为水土资源高效利用。E-mail: nercwsi@vip.sina.com。

主要特征的土壤退化现象<sup>[5-6]</sup>。所以,从调控苹果园的肥、水资源入手,将有助于促进渭北旱塬苹果产量、品质的稳步提高。必须采取合理而有效的措施来增加土壤中的水分含量,改善土壤的理化性质,加强其保水、保肥能力,新型节水保水材料保水剂的出现为解决这一难题提供了新的有效途径<sup>[7]</sup>。虽然保水剂在苹果上的应用已有部分研究,但是关于保水剂与肥料混施对苹果树生长、产量和品质的影响研究较少,出于保水剂在农业领域实际推广应用的需要,本文将聚丙烯酰胺(PAM)与尿素进行混施,以期找到合理配比,并研究混施对苹果树生长、产量和品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于2011—2012年在长武黄土高原农业生态试验站附近果园内(35°12'N,107°40'E)进行。该区处黄土高原中南部陕甘交界处,海拔在1 200 m,属内陆干旱气候,年均降水量580 mm,年积温2 994℃,年平均气温9.1℃,无霜期171 d,地下水位

50~80 m,无灌溉条件,属典型的旱作雨养农业区。地带性土壤为黑垆土,质地均匀疏松。供试果树为生长17 a的富士,东西方向种植,行株距为4 m×2 m。果园内除PAM与尿素施用管理外,修剪整枝、磷钾肥施用、病虫害防治等其它管理栽培措施完全相同。聚丙烯酰胺(PAM)由胜利炼油厂劳动服务公司生产,分子量大于800万。

### 1.2 试验设计

选取干周、枝量、长势较为一致的果树进行试验,试验设置16个处理,每处理设置3个重复,每3株果树为一个处理小区,试验设计见表1。PAM用量用P表示,尿素用量用N表示。

施肥方式:基肥为条状沟施,每排果树两侧开沟,沟深20 cm;追肥为穴施,沿果树四周1 m处挖四个穴施入,穴深20 cm。

每株定量配施磷肥、钾肥:过磷酸钙1.67 kg·株<sup>-1</sup>;硫酸钾1.50 kg·株<sup>-1</sup>。

分期施肥:秋施基肥,施入氮肥的1/2,磷肥的全部,钾肥的1/2;开花期3月份追肥,施入氮肥的1/3;果实膨大期7月份追肥,施入氮肥的1/6,钾肥的1/2。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

名称 Name	处理 Treatment															
	P1N1	P1N2	P1N3	P1N4	P2N1	P2N2	P2N3	P2N4	P3N1	P3N2	P3N3	P3N4	P4N1	P4N2	P4N3	P4N4
PAM/(kg·株 <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35
尿素/(kg·株 <sup>-1</sup> ) Urea	0.90	1.36	1.83	2.30	0.90	1.36	1.83	2.30	0.90	1.36	1.83	2.30	0.90	1.36	1.83	2.30

### 1.3 测定项目

(1) 生长发育与产量测定:在各处理选定的3株果树外围不同部位选择长势较一致的15个新梢,于5月中旬用直尺测量新梢长度;在果实成熟期,从每株果树外围新梢中部随机摘取100片鲜叶,测量百叶重;在试验结束时调查各处理所有单株的产量,测量单果重、果径。

(2) 果实品质测定:从各处理选定的3株果树外围随机摘取12个成熟果实,用NaOH滴定法测定果实含酸量,用WYT-4型手持折光仪测定果实可溶性固形物含量,用GY-1型果实硬度计测定果实硬度。

### 1.4 数据分析

试验中所有数据均为各重复测定的平均值。采用Excel 2003和SPSS 11.5统计分析软件对试验数据进行分析 and 处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 PAM与尿素混施对新梢生长量和百叶重的影响

新梢生长量是衡量树体发育的一项重要指标,由图1可知,在同一PAM处理水平下,新梢生长量总体随着尿素施用量的增加而增大,其中P1N4处理比P1N1处理增加了47%,P2N4处理比P2N1处理增加了24%,P4N4处理比P4N1处理增加了30%;在PAM所有处理中,新梢生长量超过20 cm的处理共有6个,分别是P1N4、P2N4、P3N1、P3N3、P3N4、P4N4,其中P3水平所占比例最大,即新梢生长量在P3水平下相对较大。由图1也可看出,新梢生长量随着PAM用量的增加总体上表现出先增大后减小的趋势。

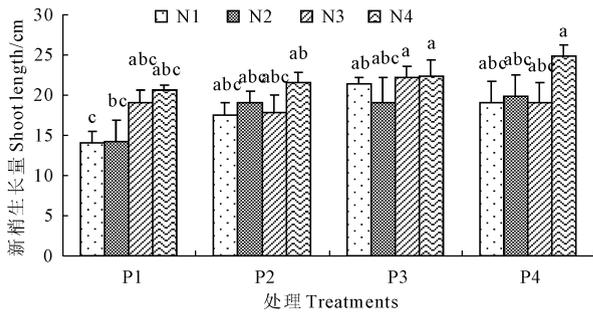


图 1 PAM 与尿素混施下各处理的新梢生长量

Fig.1 The shoot length of different treatments

注:图中的不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平,下同。

Note: Different letters mean significant at 5% level. The same below.

由图 2 可知,在同一 PAM 处理水平下,百叶重总体呈现出随着尿素施用量的增加而先增大后减小的规律,P1、P2 和 P3 水平下 N3 处理表现出最大值,P4 水平下 N2 处理表现出最大值,P1N3 处理比 P1N1 处理增加 9%,P2N3 处理比 P2N1 处理增加 33%,P3N3 处理比 P3N1 处理增加 17%,P4N2 处理比 P4N1 处理增加 23%;在 PAM 所有处理中,P3、P4 水平下百叶重要大于 P1、P2 水平下,但是 P3 水平和 P4 水平之间差异不显著。

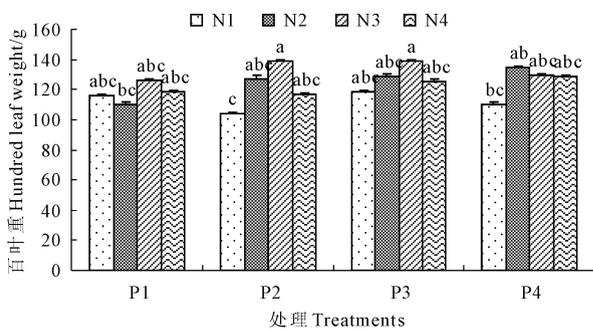


图 2 PAM 与尿素混施下各处理的百叶鲜重

Fig.2 The hundred leaf weight of different treatments

## 2.2 PAM 与尿素混施对单果重、果实横径和产量的影响

由图 3 可知,在 P3 和 P4 水平下,单果重表现出随着尿素施用量增加而增大的趋势,但在 P1 和 P2 水平下尿素处理对单果重的影响不显著,P3N4 处理比 P3N1 处理增大 27%,P4N4 处理比 P4N1 处理增大 23%;在同一尿素处理水平下,P3 水平表现出最大值,单果重随着 PAM 施用量的增加先增大后减小,P3N2 处理比 P1N2 处理增大 11%,P3N3 处理比 P1N3 处理增大 24%,P3N4 处理比 P1N4 处理增大 23%。

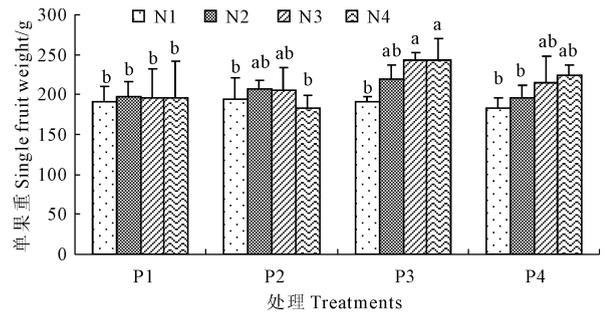


图 3 PAM 与尿素混施下各处理的单果重

Fig.3 The single fruit weight of different treatments

果实横径是衡量果实大小的指标,在苹果销售过程中,果径的大小决定苹果的售价。由图 4 可知,在 P3 和 P4 水平下,果实横径表现出随着尿素施用量增加而增大的趋势,但在 P1 水平下尿素的作用不显著,在 P2 水平下 N3 处理最大,N4 处理最小;P3N4 处理比 P3N1 处理增大 12%,P4N4 处理比 P4N1 处理增大 7%;果实横径大于 80 mm 的共有 3 个处理,分别是 P3N3、P3N4 和 P4N4,P3 处理占到 2/3,说明在 PAM 的四个处理水平中,P3 水平对果实横径的提高促进作用最大。

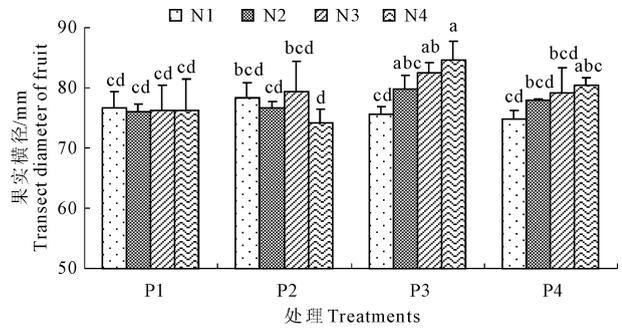


图 4 PAM 与尿素混施下各处理的果实横径

Fig.4 Transect diameter of fruit for different treatments

通过图 5 可知,在同一 PAM 处理水平下,产量随着尿素施用量的增加先增大后减小,在 P1 和 P2 水平下,尿素四个水平中 N3 表现出最大值,在 P3 和 P4 水平下,尿素四个水平中 N2 表现出最大值,P1N3 处理比 P1N1 处理增加 41%,P2N3 处理比 P2N1 处理增加 82%,P3N2 处理比 P3N1 处理增加 100%,P4N2 处理比 P4N1 处理增加 53%;在所有处理中,产量超过  $30 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$  的共有 5 个,分别是 P1N3、P2N3、P3N2、P3N3 和 P3N4,PAM 四个处理水平中,P3 占到 3/5,说明在 PAM 所有处理水平中,P3 的增产作用最显著。所有处理中,表现最好的两个处理是 P2N3 和 P3N2。

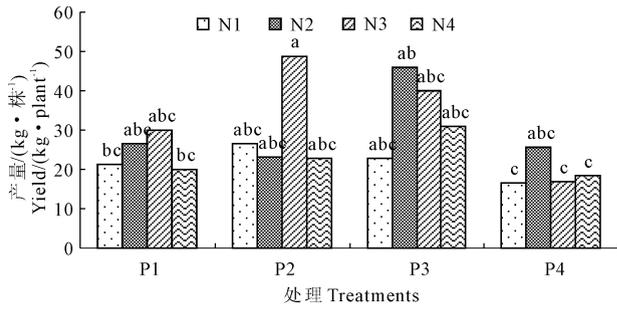


图 5 PAM 与尿素混施下各处理的产量

Fig.5 The yield of different treatments

2.3 PAM 与尿素混施对果实品质的影响

品质好坏直接影响果实的商品价值和等级,了解 PAM 与尿素混施对果实品质的影响,对提高果实质量、促进果业持续健康发展有重要现实意义。

表 2 PAM 与尿素混施对果实品质的影响

Table 2 The effect of PAM mixed with urea on fruit quality

处理 Treatment	果形指数 Index of fruit shape	硬度 Hardness / (kg · cm <sup>-2</sup> )	可溶性固形物 Soluble solid / %	可滴定酸 Titratable acids / %
P1N1	0.93abcd	10.38ab	10.69b	0.32bc
P1N2	0.95abcd	9.36ab	13.22a	0.26d
P1N3	0.92abcd	10.58a	12.67a	0.32b
P1N4	0.93abcd	9.76ab	12.98a	0.38a
P2N1	0.86d	9.13ab	9.64b	0.28bcd
P2N2	0.97ab	10.21ab	13.52a	0.28bcd
P2N3	0.89bcd	9.01ab	12.32a	0.27cd
P2N4	0.99a	9.92ab	12.44a	0.27cd
P3N1	0.95abc	9.67ab	12.16a	0.30bcd
P3N2	0.92abcd	9.19ab	12.48a	0.29bcd
P3N3	0.97ab	9.15ab	12.64a	0.31bc
P3N4	0.86d	8.88ab	13.10a	0.28bcd
P4N1	0.95abcd	9.74ab	12.73a	0.30bcd
P4N2	0.88cd	9.30ab	12.06a	0.29bcd
P4N3	0.93abcd	10.23ab	12.86a	0.30bcd
P4N4	0.95abcd	8.68b	13.42a	0.28bcd

由表 2 可知,果形指数较大的处理是 P2N4、P2N2 和 P3N3,而果形指数较小的处理是 P2N1、P3N4 和 P4N2。果实硬度是衡量果实耐储耐运的指标,本研究中 P1N3 处理硬度最大,为 10.58 kg · cm<sup>-2</sup>,P4N4 处理硬度最小,为 8.68 kg · cm<sup>-2</sup>,说明 PAM 和尿素施用量都不宜过大。果实中可溶性固形物含量的高低直接影响苹果的风味和营养价值,本研究中 P2N2 和 P4N4 处理果实可溶性固形物含量较高,P2N1 和 P1N1 处理果实可溶性固形物含量较少。含酸量也是果实品质高低的重要指标,本研究中 P1N4、P1N3 和 P1N1 处理含酸量较高,分别

为 0.38%,0.32% 和 0.32%,P1N2、P2N4 和 P2N3 处理含酸量较低,分别为 0.26%,0.27% 和 0.27%,说明若要控制含酸量,PAM 用量不宜过低和过高。

3 讨论与结论

本文旨在研究 PAM 与尿素混施对渭北旱原苹果生长及产量品质的影响,取得一定成果,但尚有较大局限:实验方面,期限较短,只有一年的产量结果,对于苹果树这类研究,较难排除大小年的影响;果实品质的分析,采样为随机进行,较难确保其代表性并不带人为主观意识。本研究主要结论如下:

1) 新梢生长量在同一 PAM 处理水平下随着尿素施用量的增加而增大,随着 PAM 用量的增加总体上表现出先增大后减小的趋势,并在 PAM 处理 P3 水平下达到最大;百叶重在同一 PAM 处理水平下总体呈现出随着尿素施用量的增加而先增大后减小的规律,在 PAM 所有处理中,P3、P4 水平要大于 P1、P2 水平。

2) 单果重和果实横径在 P3 和 P4 水平下表现出随着尿素施用量增加而增大的趋势,在同一尿素处理水平下,P3 水平表现出最大值;产量在同一 PAM 处理水平下随着尿素施用量的增加先增大后减小,并在 P3 水平表现出最大值,所有处理中,表现最好的两个处理是 P2N3 和 P3N2。

3) P1N3 处理硬度最大,P4N4 处理硬度最小;可溶性固形物在 P2N2 和 P4N4 处理中含量较高;PAM 施用量过高或过低都会导致含酸量的增加。

综上所述,在渭北旱原苹果园推广 PAM 与尿素混施使用时,推荐 PAM 与尿素最佳配比为尿素 1.36 kg · 株<sup>-1</sup>、PAM 0.25 kg · 株<sup>-1</sup>,即尿素与 PAM 的质量比为 6 左右。实际应用时,宜根据果树品种、果龄及具体环境条件作出调整。

致谢:长武黄土高原农业生态试验站在整个试验期间给予了帮助,在此致以诚挚的谢意!

参考文献:

[1] 刘贤赵,李 涛.渭北旱塬苹果基地土壤水分空间变异性研究[J].农业工程学报,2005,21:33-38.  
 [2] 张社红,李 军,王学春,等.渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟[J].生态学报,2011,31(13):3767-3777.  
 [3] Jun Fan, Mingde Hao, Malhi S S. Accumulation of nitrate-N in the soil profile and its implications for the environment under dryland agriculture in northern China: A review[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2010,90(3):429-440.

### 3 结论与讨论

不同措施对保护性耕作燕麦田杂草的防除效果差异明显,且对株防效和鲜重防效的影响一致。通过表 2 可以看出,不同除草措施对杂草的防除效果依次为综合除草 > 苗期中耕 + 苗期巨星 + 2,4-D 丁酯 > 深松 + 苗期巨星 + 2,4-D 丁酯 > 苗期中耕 + 苗期伴地农 + 2,4-D 丁酯 > 人工除草 > 收后草甘膦 + 苗期巨星 + 2,4-D 丁酯 > 苗期中耕 + 苗期 2 甲 4 氯钠盐 + 2,4-D 丁酯 > 深松 + 苗期伴地农 + 2,4-D 丁酯 > 深松 + 苗期 2 甲 4 氯钠盐 + 2,4-D 丁酯 > 收后草甘膦 + 苗期伴地农 + 2 甲 4 氯 > 收后草甘膦 + 苗期 2 甲 4 氯钠盐 + 2,4-D 丁酯 > 苗期巨星 + 2,4-D 丁酯 > 苗期伴地农 + 2,4-D 丁酯 > 苗期 2 甲 4 氯钠盐 + 2,4-D 丁酯 > 25 g·hm<sup>-2</sup> 巨星 > 1 500 ml·hm<sup>-2</sup> 伴地农(溴苯腈) > 750 ml·hm<sup>-2</sup> 2,4-D 丁酯 > 1 400 g·hm<sup>-2</sup> 二甲四氯钠盐 > 2 250 ml·hm<sup>-2</sup> 草甘膦 > 中耕 > 225 g·hm<sup>-2</sup> 阔草枯 > 750 g·hm<sup>-2</sup> 阔莠克 > 深松 > 15 g·hm<sup>-2</sup> 抑阔宁 > 浅松 > 70% 的覆盖量 > 50% 的覆盖量 > 轮作 > 8 kg·667m<sup>-2</sup>(小播量) > 12 kg·667m<sup>-2</sup>(大播量) > 晚播 > 30% 的覆盖量 > 连作 > 早播 > 适播 > 10 kg·667m<sup>-2</sup>(常规播量)。在燕麦产量上,由于不同措施对杂草的防除效果不同,因而对燕麦产量性状及产量的影响存在明显差异,不同产量性状的变化规律与产量的变化规律基本一致,不同除草措施对燕麦产量的影响与杂草防除效果的变化一致,此研究结果与路战远等<sup>[1]</sup>的研究结果相似。不同措施中以综合除草、机械 + 化学和人工除草处理对燕麦的产量影响最大,增产幅度也最大,分别较对照增产 148.4%、125.6%、119.4%;其次以化学多因素除草、化学单因素除草、机械除草、不同覆盖度控草、耕作制度控草等处理对燕麦的产量影响较大,分别较

对照增产 111.6%、67.1%、46.4%、35.7%、29.6% (轮作);而不同播期控草对燕麦的产量影响相对较小,不同播期较对照增产 2.1%。在经济效益上,纯收入以综合除草处理的最高,其次为机械 + 化学组合、化学多因素除草和人工除草。

#### 参考文献:

- [1] 路战远,张德健,李淑芳,等.农牧交错区保护性耕作玉米田杂草发生规律及防除技术[J].河南农业科学,2007,(12):66-68.
- [2] 高焕文.旱地机械化保护性耕作技术教材[M].北京:中国农业大学出版社,2001.
- [3] 高焕文,李洪文,陈君达.可持续机械化旱作农业研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):57-62.
- [4] Derpsch R. Frontiers of conservation tillage and advances in conservation practis[D]. USA: West Lafayette institute, 1999.
- [5] 范希铨.农牧交错区保护性耕作油菜田间杂草发生规律及防除技术研究[J].农村牧区机械化,2009,(6):10-12.
- [6] 师江澜,刘建忠,吴发启.保护性耕作研究进展与评述[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):205-212.
- [7] 鲁向晖,隋艳艳,王飞,等.保护性耕作技术对农田环境的影响研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):66-72.
- [8] 李淑芳,马旭明,程国彦,等.农牧交错区保护性耕作玉米田间杂草发生规律及防除技术研究[J].农村牧区机械化,2006,(4):20-25.
- [9] 张飞,赵明,张宾.我国北方保护性耕作发展中的问题[J].中国农业科技导报,2004,6(3):36-39.
- [10] 李扬汉.中国杂草志[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [11] 盖钧镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 宁建荣.免耕玉米田化学除草新技术开发与应用[J].中国植保导刊,2004,24(6):23-24.
- [13] 郭小刚,刘景辉,李立军,等.不同耕作方式对杂草控制及燕麦产量的影响[J].中国农学通报,2010,26(18):11-12.
- [14] 李美,赵德友,孙作文,等.常用除草剂对玉米的安全性评价[J].中国植保导刊,2003,23(4):3-5.
- [15] 朱文达,魏守辉,刘学,等.油菜田杂草发生规律及化学防除技术[J].湖北农业科学,2007,46(6):936-938.
- [16] 张德健,路战远,张向前,等.农牧交错区保护性耕作小麦杂草防除技术研究[J].内蒙古农业大学学报,2009,30(4):51-55.

(上接第 177 页)

- [4] 张义,谢永生,郝明德.黄土沟壑区王东沟流域苹果品质限制性生态因子探析[J].中国农业科学,2011,44(6):1184-1190.
- [5] 曹裕,李军,张社红.黄土高原苹果园深层土壤干燥化特征[J].农业工程学报,2012,28(15):72-79.
- [6] 王力,邵明安,王全九,等.黄土区土壤干燥化研究进展[J].农业工程学报,2004,20(5):27-31.
- [7] Mikkelsen L R. Using hydrophilic polymers to control nutrient release[J]. Fertilizer Research, 1994,38:53-59.

- [8] 樊军,邵明安,郝明德,等.渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J].应用生态学报,2004,15(7):1213-1216.
- [9] 刘侯俊,巨晓棠,同延安,等.陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):38-44.
- [10] Benjamin Z, Houlton, Elizabeth Boyer, et al. Intentional versus unintentional nitrogen use in the United States: trends, efficiency and implications[J]. Biogeochemistry, 2013, 114:11-23.