

孙 浩,徐桂中,吴发红,等. 不同 pH 值环境下麦秸秆纤维腐蚀规律研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(5):252-256.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.067

# 不同 pH 值环境下麦秸秆纤维腐蚀规律研究

孙 浩<sup>1</sup>, 徐桂中<sup>2</sup>, 吴发红<sup>2</sup>, 王南江<sup>3</sup>, 朱 杰<sup>4</sup>

(1. 安徽理工大学土木建筑学院,安徽淮南 232001; 2. 盐城工学院土木工程学院,江苏盐城 224051;  
3. 淮委治淮工程建设管理局,安徽蚌埠 233010; 4. 江苏科技大学土木工程与建筑学院,江苏镇江 212005)

**摘要:**随着人们环保意识的提高,废弃秸秆逐渐被人们所重视并加以利用。在土木工程界,秸秆常被用作加筋材料加固软土地基,由于土体复杂的环境会影响秸秆的力学性能,所以需要考虑秸秆的腐蚀问题。通过将麦秸秆置于不同 pH 值的 HCl 溶液和 NaOH 溶液中浸泡不同时间后,测定其质量变化和抗拉强度的大小,来研究麦秸秆在不同 pH 值环境下的腐蚀规律。结果表明,不同 pH 值酸碱溶液都会对麦秸秆造成腐蚀,使其力学性能下降,但腐蚀规律却有差异。经 pH = 14 的 NaOH 溶液腐蚀后的麦秸秆整体发生萎缩,完全丧失力学性能;HCl 溶液腐蚀后的麦秸秆抗拉强度要远小于 NaOH 溶液腐蚀后的麦秸秆;同一 pH 值环境下麦秸秆抗拉性能随着腐蚀时间的增加逐渐下降。

**关键词:**麦秸秆;抗拉强度;质量损失;酸碱腐蚀

**中图分类号:** TU502 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0252-04

我国是农业大国,农作物秸秆资源丰富,每年产生各类秸秆等农业废弃物约 7.2 亿 t,是一种数量巨大的可再生资源<sup>[1]</sup>。大量秸秆被焚烧或废弃于田间,不仅造成环境污染,还浪费了宝贵的可再生资源<sup>[2-3]</sup>。因此,研究秸秆综合利用技术,将丰富的农业废弃物资源变废为宝,是促进农业可持续发展的重要举措<sup>[4]</sup>。

在土木工程界,许多学者尝试将秸秆纤维运用到土木工程建设中,并获得了初步成效<sup>[5]</sup>。范军等将小麦秸秆制作成压缩块,放入纤维混凝土空心砌块中制成秸秆混凝土草砖,草砖在满足强度的要求下,还具备更好的保温性能<sup>[6]</sup>。秸秆纤维复合材料由于其力学性能好,且是环境友好型材料,被大量应用于装饰装潢材料中<sup>[7-8]</sup>。柴寿喜等尝试将秸秆纤维作为加筋材料加入到固化的盐渍土中,来改善盐渍土的力学特性。试验结果表明,麦秸秆加筋对土体的横向变形有较强的约束作用,改善了土体稳定性,提高了土体抗压强度和抵抗变形的能力<sup>[9-11]</sup>。

需要指出,土木工程环境比较复杂,或是酸性环境,或是碱性环境,在这些复杂环境下,秸秆会发生腐蚀而影响其力学性能,所以必须要考虑秸秆的腐蚀问题。有研究显示,在碱性环境下,秸秆易腐烂,从而导致加筋土无侧限抗压强度随着固化过程的进行而降低<sup>[12]</sup>。Hsu 等用稀硫酸处理水稻秸秆,在一定的温度条件下溶液中的含糖量达到 83%<sup>[13]</sup>。Cheng 等的研究表明,用碱处理使温度达到 100 ℃时,秸秆中 60% ~ 70% 的木质素被溶解<sup>[14]</sup>。曹旭辉等采用浓度为 1% 的 NaOH 溶液处理不同粒径的稻草纤维时,经处理后的质量损失率在 40% 左右<sup>[15]</sup>。由上述试验可知,酸碱环境对秸秆腐蚀会导

致秸秆纤维遭到严重的破坏,丧失力学性能。因此,了解秸秆在酸碱环境下的腐蚀规律是合理运用秸秆纤维的前提。

本试验将麦秸秆置于不同 pH 值的 HCl 溶液和 NaOH 溶液中,浸泡不同时间后取出,分别对其质量和抗拉强度进行测试,分析 pH 值及浸泡时间对麦秸秆力学性能的影响,研究秸秆在酸性和碱性环境下的腐蚀规律。从而为秸秆在土木工程中的综合利用提供有效的指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用麦秸秆收集于江苏省盐城市农村,人工收割,经过自然风干后存放于干燥阴凉之处,选取完整、没有虫害、秆径适中的麦秸秆作为试样。用 38% HCl 试剂配制 pH 值 = 1、3、5 的 HCl 溶液,NaOH 分析纯配制 pH 值 = 10、12、14 的 NaOH 溶液。试验用水为实验室自制蒸馏水,HCl 溶液和 NaOH 溶液配制完成后,用 pH 测试笔测量溶液精准 pH 值,如果误差较大,则需重新配制。麦秸秆的烘干采用 DHG9123A 型电热恒温鼓风干燥箱,抗拉强度的测定使用 WDW-10E 型电子万能试验机。

### 1.2 试验设计

选取风干后粗细均匀的麦秸秆若干,截取最长一节秸秆,将其剪成 15 cm 的小段,每 5 根为 1 组,测得其质量后,用细线捆好(图 1)。此后,将配好的 HCl 溶液和 NaOH 溶液分别倒入 1 000 mL 塑料量筒中,每个量筒中放入 1 组秸秆,确保秸秆整个没入到溶液中。最后,用保鲜膜将量筒口密封好,以防止溶液挥发(图 2)。

将秸秆在浸泡 15、30、45、60、90 d 后取出,放入 70 ℃ 的干燥箱中烘干至恒质量,观察秸秆外表的变化,用电子天平测定烘干后秸秆的质量,计算秸秆的质量损失率,计算公式如下:

$$\text{秸秆质量损失率} = \frac{\text{秸秆原质量} - \text{烘干后秸秆质量}}{\text{秸秆原质量}} \times 100\%$$

收稿日期:2016-06-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:51408524);江苏省“六大人才高峰”项目(编号:2015-JNHB-018)。

作者简介:孙 浩(1991—),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要从事岩土工程方向的研究。E-mail:850995165@qq.com。

通信作者:徐桂中,男,博士,副教授,主要从事岩土工程方向的研究。  
E-mail:docboshixu@163.com。



图1 细线捆好的秸秆



图2 浸泡秸秆



图3 制备好的抗拉试验的秸秆试样



图4 秸秆抗拉性能测试

采用 WDW-10E 型电子万能试验机对秸秆的极限抗拉强度进行测试。由于秸秆太细,万能试验机的夹具不能很好地夹住秸秆,所以要对秸秆的两端进行处理。取  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  大小的氯乙烯塑料,将秸秆的一端夹在 2 片塑料中,抹上 AB 胶(图 3)。48 h 后,待 AB 胶到达最大强度,将制备好的秸秆样放入到万能试验机中进行抗拉强度测试。

试样受拉过程如图 4 所示,秸秆试样长 150 mm,标距,即 2 个夹具之间的距离为 120 mm,加载速度为  $5\text{ mm/min}$ 。试验时,要注意秸秆不能发生弯曲或折断,同时试验机拉力方向要沿着秸秆纵向长度方向。

## 2 结果与分析

### 2.1 烘干后秸秆样

不同 pH 值碱性环境腐蚀后秸秆样如图 5 所示,图 5-a、图 5-b、图 5-c 分别对应 pH 值 = 10、12、14 时的 NaOH 溶液浸泡、烘干后的秸秆样。从图 5 可知,pH 值 = 14 的 NaOH 溶液浸泡后的秸秆外观变化较为明显,秸秆整体发生了萎缩,相互之间缠绕在一起,颜色比天然状态下的秸秆要变黄许多,稍一用力,秸秆便可被拉断,根本不具备抗拉强度。说明强碱环境下秸秆内部结构遭到了破坏,丧失力学性能。pH 值 = 10、



a. pH值=10



b. pH值=12



c. pH值=14

图5 碱性环境下秸秆样

12 的 NaOH 溶液腐蚀后秸秆与天然状态秸秆外观上并没有比较明显的变化,但两者腐蚀后秸秆有明显质量损失,说明秸秆同样受到了这 2 种碱性溶液的腐蚀,但是受腐蚀程度远没有强碱性溶液中的秸秆严重。

图 6 为酸性环境腐蚀后秸秆样,图 6-a、图 6-b、图 6-c 分别对应 pH 值 = 1、3、5 的 HCl 溶液腐蚀后的秸秆样,图 6-d 为 HCl 溶液腐蚀后的秸秆与天然状态下秸秆进行的对比。从左到右依次为 pH 值 = 1、3、5 的 HCl 溶液腐蚀后的秸秆以及天然状态下的秸秆。由图 6 可知,相比较天然状态下的秸秆,酸性溶液腐蚀后的秸秆要明显变细许多,颜色也要比天然

状态下秸秆深许多,手感较为柔软,能够轻易弯折。其中,经 pH 值 = 1 的 HCl 溶液腐蚀后的秸秆整体呈青黑色,秆径纤细;其他 2 种 pH 值 HCl 溶液浸泡后的秸秆仍旧是黄色,秸秆表面出现了黑色霉斑。同碱性溶液一样,不同 pH 值酸性溶液也会对秸秆产生不同程度的腐蚀,即溶液中酸的浓度会影响秸秆的腐蚀程度。

图 7-a 为浸泡秸秆 90 d 后的 NaOH 溶液,图 7-b 为浸泡秸秆 90 d 后的 HCl 溶液。由图 7 可知,浸泡过秸秆的 NaOH 溶液变成了淡淡的黄色。Gram 指出,碱性环境会分解植物纤维中的木质素和半纤维素,导致纤维降解和纤维结构

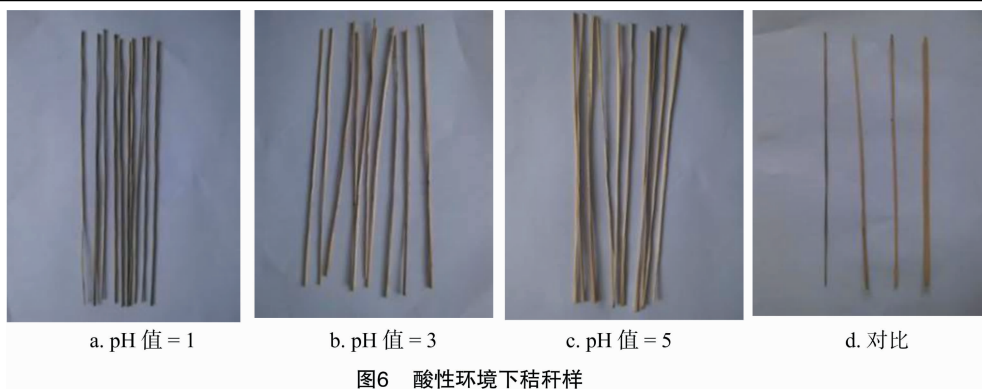


图6 酸性环境下秸秆样

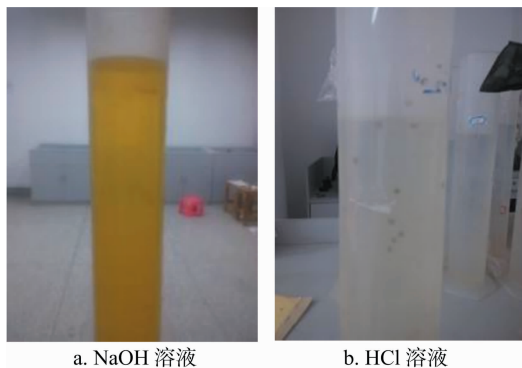


图7 浸泡秸秆后的酸碱溶液

的破坏<sup>[16]</sup>。本次试验中 NaOH 溶液变成了黄色极有可能是麦秸秆中木质素和半纤维素受到腐蚀分解,溶解到 NaOH 溶液中,致使溶液变成了黄色。浸泡过秸秆的 HCl 溶液依旧呈无色,溶液比较浑浊,量筒内壁上有几处比较明显的霉斑。综合对比可以得出,酸碱性溶液都会对秸秆造成腐蚀,但腐蚀机理却有根本性的不同。

## 2.2 秸秆质量损失规律

图 8、图 9 分别为秸秆在不同 pH 值的 NaOH 溶液和 HCl 溶液中腐蚀时间与腐蚀质量损失百分比关系图。分析图 8、图 9 可知,0~15 d 这段曲线比较陡峭,15~90 d 的曲线相对比较平缓。这表明,秸秆在碱性环境和酸性环境下 15 d 内腐蚀速率较快,质量损失比较严重。浸泡入 pH 值 = 10、12、14 的 NaOH 溶液 15 d 后,秸秆质量损失分别为 29.63%、32.54%、28.06%; pH 值 = 1、3、5 的 HCl 溶液浸泡的秸秆质量损失分别为 27.78%、28.00%、29.63%。15~90 d 这段时间内,秸秆的质量损失仍有少量增长,表明 NaOH 溶液和 HCl 溶液仍在腐蚀秸秆,但腐蚀速率明显降低,这说明 NaOH 溶液和 HCl 溶液对秸秆的腐蚀主要集中在浸泡后 15 d 内。腐蚀 90 d 后,不同 pH 值的 NaOH 溶液中秸秆质量损失分别为 32.29%、43.09% 和 38.49%; 不同 pH 值 HCl 溶液腐蚀后秸秆质量损失为 32.69%、33.33% 和 33.93%。

## 2.3 秸秆抗拉强度特性

图 10、图 11 为秸秆在 pH 值 = 10 和 pH 值 = 12 的 NaOH 溶液中浸泡不同天数后的拉力与拉伸位移关系图, pH 值 = 14 的 NaOH 溶液腐蚀后的秸秆结构遭受严重破坏,不具备抗拉性能。从 2 幅图中可以看出,秸秆拉力先随着其位移增加整体上呈线性增大趋势,当拉力增大到一定数值后,秸秆会被拉

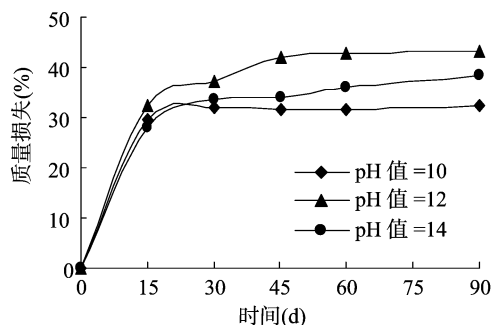


图8 碱性环境下秸秆质量损失

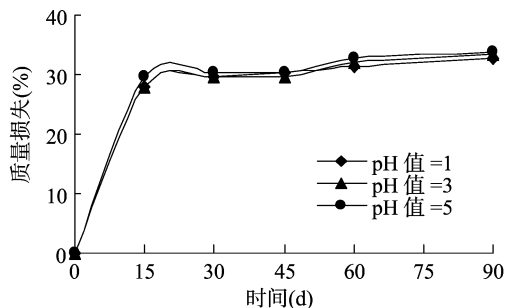


图9 酸性环境下秸秆质量损失

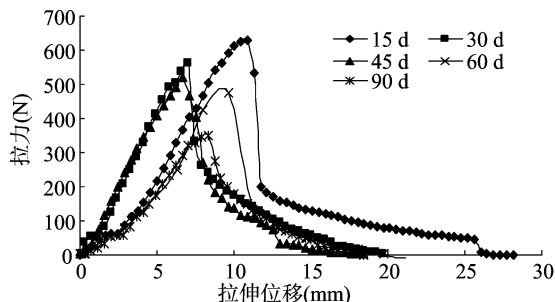


图10 pH 值=10 碱性环境下秸秆应力应变关系

断,此时拉力从峰值降下来,此时的峰值就是秸秆的极限拉力,随后拉力再随着拉伸位移的增加而慢慢减小,最终降为 0。需要指出,由于拉伸过程中聚乙烯塑料中的秸秆会发生移动,所以秸秆的拉伸位移并不是秸秆的形变。

图 12 为秸秆在不同 pH 值的 NaOH 溶液中腐蚀时间与秸秆极限拉力关系图。从图 12 可以看出,随着浸泡时间的增加,秸秆的抗拉性能总体上呈现出降低趋势。经 pH 值 = 10 的 NaOH 溶液浸泡 15 d 后的极限拉力为 629 N; 90 d 后极限

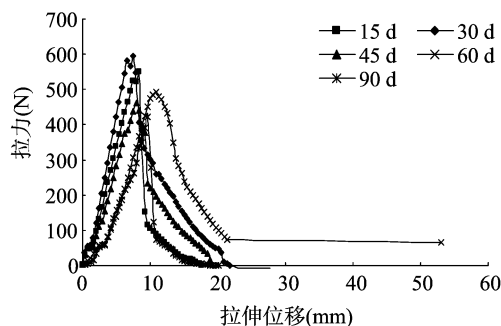


图11 pH 值=12碱性环境下秸秆应力应变关系

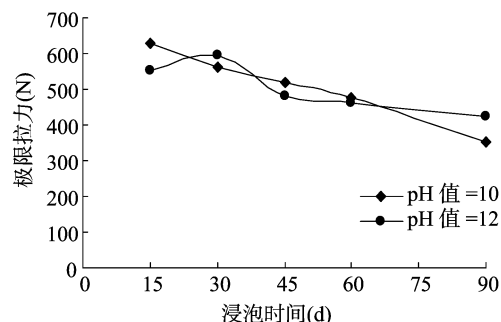


图12 秸秆抗拉强度与腐蚀时间关系

拉力降低为 351 N。经过 pH 值 = 12 的 NaOH 溶液浸泡 15 d 后的秸秆极限拉力为 551 N；腐蚀 90 d 后极限拉力变为 422 N。腐蚀时间对于秸秆的抗拉性能有比较显著的影响，随着时间的增加，pH 值 = 10、pH 值 = 12 的处理腐蚀 90 d 后秸秆抗拉强度分别要比腐蚀 15 d 的降低近 44.2%、23.4%。虽然 15 ~ 90 d 这段时间内，秸秆的质量损失变化不大，但秸秆抗拉性能却显著降低。这表明在 15 ~ 90 d 这段时间内，NaOH 溶液对秸秆腐蚀作用仍在继续，秸秆力学性能持续降低。所以秸秆在碱性环境下腐蚀时间越长，其力学性能就越差。

图 13、图 14 分别为浸泡 60 d 和浸泡 90 d 后秸秆拉力与拉伸位移关系图。分析 2 幅图可知，麦秸秆经 HCl 溶液腐蚀后应力应变关系大体趋势与碱性环境下一致，不同 pH 值 HCl 溶液腐蚀 60 d 后，秸秆极限拉力分别为 302、335、344 N，要远远小于碱性环境腐蚀后秸秆的极限拉力。同样，酸性环境浸泡 90 d 后，秸秆的极限拉力分别降为了 214、158、125 N，同样要远远小于相同天数 NaOH 溶液腐蚀后麦秸秆的极限拉力。

综合分析来看，同一环境下，腐蚀时间越长，秸秆抗拉性

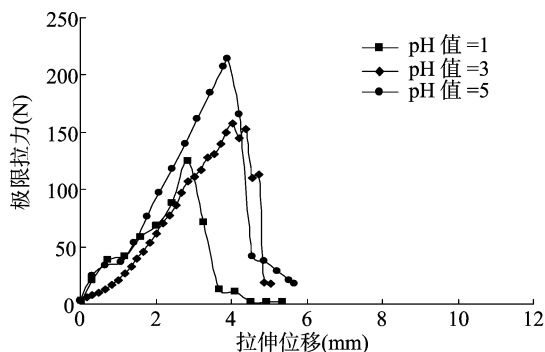


图14 腐蚀 90 d 后秸秆应力应变关系

能越差，说明随着腐蚀时间增加，虽然秸秆外观和质量损失没有明显变化，但秸秆仍然受到酸碱环境的腐蚀。其次，NaOH 溶液和 HCl 溶液浓度越高，秸秆受到的腐蚀也越严重，抗拉性能也越低，说明酸碱浓度也是影响秸秆腐蚀的一个重要因素。相同时间下，秸秆受 HCl 溶液腐蚀后抗拉强度要远远小于受 NaOH 溶液腐蚀。这很有可能跟酸碱性环境对秸秆腐蚀机理不同有关。

麦秸秆主要是由木质素、纤维素、半纤维素、蜡质和灰分组成<sup>[17]</sup>。木质素是构成麦秸秆细胞壁的一种重要物质，通过形成交织网来硬化细胞壁，强化植物组织。纤维素是植物细胞壁的主要组成成分，赋予稻麦秸秆纵向抗拉强度，起着骨架作用，纤维素含量越高，其纵向抗拉强度越好。碱性环境对半纤维素和木质素影响较大，宋籽霖等的研究显示，氢氧化钠预处理能够显著降低玉米秸秆的木质纤维素含量，与未预处理的秸秆相比，经氢氧化钠处理后的秸秆半纤维素含量降低了 14.2% ~ 52.4%，木质素含量降低了 9.3% ~ 29.3%<sup>[18]</sup>。而酸性环境能够降解麦秸秆中纤维素，降低纤维素成分的含量，破坏麦秸秆结构<sup>[19]</sup>。这可能是麦秸秆受 HCl 溶液腐蚀后，手感较为柔软，抗拉强度降低，截面尺寸明显变小的原因。

### 3 结论

本试验从秸秆的外观变化、质量损失以及抗拉性能 3 个角度分析了酸碱环境对麦秸秆的腐蚀规律，得到如下结论：

（1）酸碱环境都会对秸秆造成严重的腐蚀，但两者腐蚀机理却各不相同，秸秆的质量损失为 30% ~ 40%。

（2）在强碱环境下，秸秆内部结构会遭到严重破坏，其直观表现为秸秆重度萎缩，失去抗拉性能，丧失力学特性。

（3）随着酸碱对秸秆腐蚀时间的增加，秸秆的抗拉强度逐渐降低。

（4）酸性环境下，秸秆中起支撑作用的骨架物质——纤维素含量会明显减少，所以酸性腐蚀后的秸秆抗拉强度要远远小于碱性复试后的秸秆的抗拉强度。

### 参考文献：

- [1] 孙育峰, 丰成学, 李友权. 我国农作物秸秆资源及其利用与开发[J]. 调研世界, 2009(7): 37-39.
- [2] 李保谦, 马孝琴, 张百良, 等. 秸秆成型与燃烧技术的产业化分析[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(1): 78-80.
- [3] 李新芸, 江波. 农作物秸秆综合利用现状及对策[J]. 湖南农机, 2006(2): 16-18.

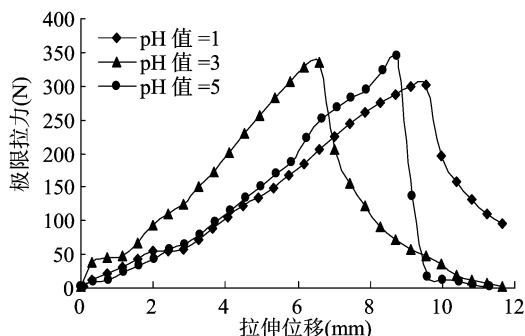


图13 腐蚀 60 d 后秸秆应力应变关系

田京京,赵红安,赵丽,等.耕地资源经济-社会-生态系统有序度测算及交互胁迫关系验证——以沧州市为例[J].江苏农业科学,2017,45(5):256-264.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.068

# 耕地资源经济-社会-生态系统有序度测算 及交互胁迫关系验证 ——以沧州市为例

田京京,赵红安,赵丽,朱永明

(河北农业大学国土资源学院,河北保定 071000)

**摘要:**立足于系统论和协同学理论,应用计量经济分析方法将耕地资源视作由经济、社会、生态环境3个子系统相互关联、相互影响、相互制约所构成的复合系统,从三维视角研究耕地资源系统在一定时空范围内,经济-社会-生态环境子系统的有序度、相互胁迫关系与变化规律。研究表明,耕地资源系统有序度是3个子系统的综合反映,20年间经济与生态环境子系统有序度变化幅度较大,各子系统之间存在交叉相对变化的趋势,相对来说,社会子系统有序度变化不明显。与此同时,沧州市耕地各子系统间确实存在一定的交互胁迫关系,在1994—2013年间,除泊头市外,经济-社会子系统表现出明显的协同发展关系,经济社会与生态环境子系统之间的胁迫关系较明显。本研究为不同学科间的交叉研究提供了新的理念,并为耕地资源可持续发展研究提出了新思路。

**关键词:**耕地资源系统;系统有序度;交互胁迫;沧州市;可持续发展

**中图分类号:** F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0256-09

耕地作为宝贵资源,是由自然、经济、社会、生态、环境等各个子系统相互关联、相互制约所构成的复合系统的综合体。

收稿日期:2016-02-01

基金项目:河北省社会科学基金(编号:HB14GL040);河北省社会科学发

展研究课题(编号:2014030718)。

作者简介:田京京(1989—),女,河北沧州人,硕士,主要从事土地资源利用与规划研究。E-mail:bdltj0516@126.com。

通信作者:朱永明,硕士,副教授,主要从事土地资源利用与规划研究。E-mail:zhyming2005@126.com。

在某一耕地,经济、社会、生态环境子系统之间能够相互配合、相互促进、协调发展,耕地资源系统就会实现健康、有序、可持续发展的良性循环;反之,耕地资源系统就会陷入生态环境恶化、社会经济紊乱的恶性循环。当前,随着城镇化步伐的加快,建设用地不断占用耕地,尽管我国耕地保护制度较为严格,但耕地数量锐减、耕地质量下降的问题依然存在<sup>[1]</sup>;与此同时,面对人地关系紧张与粮食安全问题的严峻形势,为满足粮食需求和获得更大的产出效益,耕地利用集约化显著,大量的化肥、农药投入在一定程度上产生了一系列耕地生态安全

- [4]高海,李国东,刘伟,等.农作物秸秆综合利用现状及技术[J].现代农业科技,2011(18):290-291.
- [5]蒋连接,李庆录,苗恒亚,等.内填充农作物秸秆的粉煤灰砌块保温墙体热工性能研究[J].新型建筑材料,2010,37(7):51-53.
- [6]范军,刘福胜,刘永,等.秸秆纤维混凝土砌块的强度和保温性能试验研究[J].建筑科学,2010(8):45-47.
- [7]Malherbe S, Cloete T E. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications[J]. Rev Environ Sci Biotech, 2002, 1(2): 105-114.
- [8]Parka J, Riki S, Muhammad I A, et al. A novel lime pretreatment for subsequent bioethanol production from rice straw - calcium capturing by carbonation (CaCCO) process[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(17): 6805-6811.
- [9]李敏,柴寿喜,魏丽.麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J].工程地质学报,2009,17(4):545-549.
- [10]杨继位,柴寿喜,王晓燕,等.以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件[J].岩土力学,2010,31(10):3260-3264.
- [11]李敏,柴寿喜,杜红普,等.麦秸秆加筋土的合理布筋位置和抗剪强度模型[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增刊2):3923-3929.

- [12]Greeshma, P G. Rice straw reinforcement for improvement in Kuttanad clay[C]. Kochi; Proceedings of Indian Geotechnical Conference, 2011: 449-452.
- [13]Hsu T C, Guo G L, Chen W H, et al. Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis[J]. Bioresource technology, 2010, 101(13): 4907-4913.
- [14]Cheng Z S. Recent developments in China pulp and paper research on wheat straw[C]. Straw a valuable raw material conference proceedings, Cirencester, 20-22 April, 1993: 1-23.
- [15]曹旭辉,朱祥,钟春伟,等.稻草纤维/镁水泥复合材料的性能研究[J].混凝土,2010(5):61-63.
- [16]Gram H. Durability of natural fibres in concrete[R]. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1983.
- [17]刘志明,王逢瑚,苏润洲.麦秆表面形貌及表面元素分析[J].东北林业大学学报,2002,30(2):62-65.
- [18]宋籽霖,孙雪文,杨改河,等.不同温度下氢氧化钠预处理对玉米秸秆甲烷产量的影响[J].化工学报,65(5):1876-1882.
- [19]覃国栋,刘荣厚,孙辰.酸预处理对水稻秸秆沼气发酵的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2011,29(1):58-61.