

冬种多花黑麦草与稻田六足动物多样性关系初探*

贾凤龙¹, 周柏权², 游奕来², 甘道建², 李伯欣²

(1. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275;

2. 珠海市农业科学技术推广站, 广东 珠海 519110)

摘要: 2008年11月至2010年6月, 对珠海市农业技术推广站稻田及周围杂草以及冬种黑麦草田3种不同生境的节肢动物越冬群落进行系统调查, 共鉴定出六足动物10目57科78种。水稻种植期稻田以双翅目和同翅目为优势种类, 而杂草地以双翅目为优势种类。冬种黑麦草田以双翅目和膜翅目为优势种类, 杂草地以膜翅目、缨翅目和双翅目为优势种类。每次取样的Shannon-Wiener多样性指数(H)在2.30~3.20之间, Pielou均匀性指数(J)在0.72~0.86之间, 但水稻成熟后会影响到均匀度。优势度指数(C)均在0.25以下。水稻生长期和冬闲期各种指数没有明显的差异。水稻种植期期间, 黑麦草田与对照田Jaccard相似性指数最高, 但在冬闲期, 杂草地与黑麦草田更高。

关键词: 稻田生境; 非稻田生境; 六足动物群落; 多花黑麦草

中图分类号: Q968.1 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2012)04-0087-05

Relationship between Planting Italian Ryegrass during Winter and Hexapod Community in Rice Habitat

JIA Fenglong¹, ZHOU Boquan², YOU Yilai², GAN Daojian², LI Boxin²

(1. Life Science School, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Zhuhai Agricultural Technology Extension Station, Zhuhai 519110, China)

Abstract: From Nov. 2008 to Jun. 2010, an ecological investigation on Hexapoda was carried out in rice habitat and non-rice habitat in Agricultural Technology Extension Station, Zhuhai, Guangdong Province. A total of 78 species of Hexapoda, which belong to 57 families, 10 orders, were obtained. The results show that Diptera and Homoptera are dominant in rice field, but only Diptera is dominant in weeds during rice growing. Diptera and Hemynoptera are dominant in *Italian ryegrass* field in winter. However, Hemynoptera, Thysanoptera and Diptera are dominant in weeds. Shannon-Wiener diversity index (H) is 2.30~3.20. Pielou-evenness (J) is 0.72~0.86, but the value would be changed when rice maturing. Simpson dominance index is below 0.25. There is no distinct difference on the three indices between rice growing season and winter time. Jaccard similarity index is higher in *Italian ryegrass* field and control field during rice growing, but higher in *Italian ryegrass* field and weeds in winter.

Key words: rice habitat; non-rice habitat; hexapod community; *Lolium perenne*

稻田冬闲期种植黑麦草 *Lolium multiflorum* L. 已逐渐成为我国南方稻田的一种重要的轮作模式。稻田轮种多花黑麦草不仅在稻田冬闲期可以生产大

量优质青饲料, 而且还能够显著地改善稻田土壤的理化和生物等性状, 使后作水稻增产^[1-2], 同时起到了自然环境中的昆虫资源存储库的作用, 增加物

* 收稿日期: 2011-12-14

基金项目: 广东省科技计划资助项目(2009B020310007); 珠海市科技计划资助项目(PC20081077)

作者简介: 贾凤龙(1966生), 男, 副教授; E-mail: fenglongjia@yahoo.com.cn

种丰富度, 提高多样性^[3-6]。

2001 年, 中山大学昆虫学研究所提出“黑麦草—水稻”轮作保蛛治虫的模式, 并在广东清新县建立了研究基地。然而, 目前为止, 仅见张洁等^[7]1 篇关于冬种黑麦草对稻田节肢动物多样性的研究报道。2008 年, 中山大学以广东省珠海市农业技术推广站稻田为基地开展了冬种多花黑麦草对水田病虫害的控制作用研究, 探讨冬种黑麦草对水稻害虫的控制作用。

1 材料与方法

1.1 试验地

2008 年 11 月至 2010 年 6 月, 在广东省珠海市农业技术推广站 (北纬 22°21'19", 东经 113°13'20") 选择一块面积约 1 000 m² 的稻田及其周围杂草 (weed habitat, WH) 作为研究试验田, 该田冬季种植多花黑麦草 *Lolium multiflorum* L. cv. Tetragold (英文: Italian Reygrass, IRG), 春夏季正常种植水稻。另选择一块面积相似的与试验田相距大约 100 m 的水稻冬闲田 (rice-rice-winter follow field, WF (我们以前发表的文章中冬闲的英文是 winter idling)) 作为对照。对照田冬闲期不种任何作物, 收割后不久即进行翻田, 插秧前进行泡地。两块田种植水稻均为同一品种, 同一天插秧。该地区年平均气温 22.5 °C, 年均降雨约 2 000 mm。

1.2 调查方法

2008 年 12 月至 2010 年 5 月共调查采样 9 次, 各样地均采用随机取样, 每样方面积约 5 m², 样方选择在每一块田的中间部位。用吸虫器仔细收集小区内所有的六足动物个体 (吸虫器是由背负式喷雾器改装而成), 同时进行大型昆虫目测计数 (因吸虫器无法吸入大型昆虫) 并将采集的标本带回室内鉴定, 2009-05-09 至 2010-06-10 期间, 设置天边杂草样地。样品分别用 $\varphi = 100\%$ 的酒精浸泡, 经室内清样、鉴定, 统计节肢动物种类数和各物种的个体数量, 2009-05-09 至 2010-06-10 期间, 设置田边杂草对照样地。

1.3 数据分析与处理

采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀性指数、Simpson 优势度指数、Jaccard 相似性指数对群落多样性进行分析^[8]。相关计算公式如下

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\ln P_i) \quad (1)$$

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} (H_{\max} = \ln S) \quad (2)$$

$$C = \sum_{i=1}^n P_i^2 \quad (3)$$

$$q = \frac{N}{N_1 + N_2 - N} \quad (4)$$

式 (1) 中, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, P_i 为第 i 物种的个体数占群落总个体数的比例, S 为丰富度; 式 (2) 中, J 为 Pielou 均匀性指数, S 为丰富度; 式 (3) 中, C 为 Simpson 优势度指数, $P_i = N_i / N$, N_i 为第 i 种个体数, N 为群落总个体数, 即群落所包含的物种数; 式 (4) 中, q 为 Jaccard 相似性指数, N 为两个群落共有物种数, N_1 和 N_2 分别为群落 1 和群落 2 物种数。

考虑到水稻田的播种、灌水、收割、黑麦草的播种等诸多因素对试验地的影响十分明显, 从而导致试验田、对照田的环境不稳定, 而田边杂草是一个自然的相对稳定的环境, 故在计算各种指数时采取每次取样计算比较, 而不进行综合比较。

2 结果与分析

2.1 不同生境六足动物越冬数量及群落组成

3 块样地调查所获样本数据, 共鉴定出六足动物 10 目、57 科、78 种。其中, 植食性六足动物 35 种, 捕食性昆虫 13 种, 寄生性昆虫 17 种, 中性昆虫 13 种。不同生境水稻种植期和冬闲期六足动物群落组成如表 1 和表 2。比较两个表的结果显示, 水稻种植期和冬闲期的六足动物目的组成完全相同, 说明各目的动物在珠海均有以成虫期越冬的种类。

水稻种植期, 黑麦草田和对照田以双翅目和同翅目为优势, 分别占 40.3%、26.9% 和 37.4%、24.5%; 而杂草中则仅以双翅目为优势, 其它类群优势不明显。膜翅目的比例在 3 块田中的比例基本一致, 大约在总数量的 10% 左右。其它各类群个体数量均在 5% 以下 (表 1)。

冬闲期不同环境的六足动物群落的组成情况如表 2, 从中可以看出, 对照田六足动物种类和数量很少, 其中直翅目虽然数量不大, 但却总数的 80.6%。黑麦草田双翅目优势明显, 占 52.8%, 其次是膜翅目, 占 20.9%, 两者之和占本样地六足动物的 73.7%, 其余类群均在 10% 以下。而杂草地则以膜翅目和缨翅目为优势, 分别占总数的 30.9% 和 31.1%, 双翅目占 17%, 三者相加达 78%。

表 1 不同生境六足动物水稻种植期群落组成
Table 1 Composition of the hexapod community in rice habitat and weed habitat

| 动物类群 | 对照田 WF | | 杂草 WH | | 黑麦草田 IRG | |
|---------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% |
| 弹尾目 Collembola | 1.67 | 4.0 | 1.2 | 4.2 | 2.6 | 5.9 |
| 蜚蠊目 Blattodea | 0 | 0 | 0.2 | 0.7 | 0 | 0 |
| 直翅目 Orthoptera | 3.0 | 7.2 | 1.2 | 4.2 | 0.8 | 1.9 |
| 同翅目 Homoptera | 10.3 | 24.5 | 1.4 | 4.9 | 11.6 | 26.9 |
| 半翅目 Hemiptera | 1.6 | 3.8 | 0.8 | 2.8 | 1.9 | 4.3 |
| 缨翅目 Thysanoptera | 2.7 | 6.4 | 4.4 | 15.3 | 1.9 | 4.3 |
| 鞘翅目 Coleoptera | 1.0 | 2.2 | 0.6 | 2.1 | 1.3 | 3.1 |
| 双翅目 Diptera | 15.7 | 37.4 | 15.8 | 54.9 | 17.3 | 40.3 |
| 鳞翅目 Lepidoptera | 0.7 | 1.8 | 0.4 | 1.4 | 1.0 | 2.2 |
| 膜翅目 Hymenoptera | 4.2 | 10.0 | 2.8 | 9.7 | 4.8 | 11.0 |

表 2 不同生境六足动物冬闲期群落组成

Table 2 Composition of the overwintering hexapod community in rice habitat and non-rice habitat

| 动物类群 | 对照田 WF | | 杂草 WH | | 黑麦草田 IRG | |
|---------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% |
| 弹尾目 Collembola | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.9 | 6.2 |
| 蜚蠊目 Blattodea | 0 | 0 | 0.07 | 0.2 | 0 | 0 |
| 直翅目 Orthoptera | 1.7 | 80.6 | 0.5 | 1.4 | 1.0 | 3.3 |
| 同翅目 Homoptera | 0.07 | 3.2 | 3.1 | 8.5 | 2.9 | 9.5 |
| 半翅目 Hemiptera | 0 | 0 | 1.8 | 4.9 | 0.12 | 0.4 |
| 缨翅目 Thysanoptera | 0.07 | 3.2 | 11.5 | 31.1 | 1.16 | 3.8 |
| 鞘翅目 Coleoptera | 0 | 0 | 2.3 | 6.1 | 0.52 | 1.7 |
| 双翅目 Diptera | 0.2 | 3.2 | 6.3 | 17.0 | 16.04 | 52.8 |
| 鳞翅目 Lepidoptera | 0.07 | 3.2 | 0 | 0 | 0.14 | 1.4 |
| 膜翅目 Hymenoptera | 0 | 0 | 11.5 | 30.9 | 6.36 | 20.9 |

从六足动物的群落功能类群统计，可以看出，黑麦草田越冬群落六足动物密度为中性昆虫 > 植食性动物 > 寄生性昆虫 > 捕食性昆虫（表 3），中性昆虫主要为摇蚊科的种类，植食性动物没有十分明显的优势种，寄生性昆虫基本为小蜂总科昆虫，捕食性的昆虫主要为鞘翅目隐翅虫科 2 种昆虫。杂草地为植食性动物 > 寄生性昆虫 > 中性昆虫 > 捕食性昆虫，植食性动物以缨翅目 2 种昆虫为优势，寄生性和捕食性的优势与黑麦草田相同。而对照田各类动物数量都大大地低于前两种环境，植食性的动物展绝对优势（90.3%）。

表 3 不同生境六足动物类群越冬群落数量及比例
Table 3 The number and proportion of different overwintering hexapod groups in rice habitat and non-rice habitat

| 类群 | 对照田 WF | | 杂草 WH | | 黑麦草田 IRG | | 合计 |
|-------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|----|
| | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | |
| 植食性动物 | 5.6 | 90.3 | 92 | 49.9 | 40.4 | 26.6 | |
| 捕食性天敌 | 0.4 | 6.5 | 26.7 | 14.5 | 11.8 | 7.8 | |
| 寄生性天敌 | 0 | 0 | 45.7 | 24.8 | 31.4 | 20.7 | |
| 中性昆虫 | 0.2 | 3.2 | 20 | 10.8 | 68.4 | 45.0 | |
| 总计 | 6.2 | 100.0 | 184.4 | 100.0 | 152 | 100.0 | |

而水稻种植期的黑麦草田六足动物密度为植食性动物 > 中性昆虫 > 寄生性昆虫 > 捕食性昆虫（表 4），与冬闲期相比，捕食性天敌比例略有减少，但寄生性天敌比例大大降低。对照田与黑麦草田的情况类似，但杂草地则是中性昆虫 > 植食性动物 > 寄生性昆虫 > 捕食性昆虫。中性昆虫的优势类群为摇蚊科 2 种，植食性动物则以同翅目、缨翅目和弹尾钢动物为优势。寄生性昆虫仍为小蜂总科昆虫，但捕食性昆虫则明显地增加了瓢虫科昆虫。

2.2 不同生境下六足动物生物多样性指数和相似性指数

对不同生境的多样性指数 (H')、均匀度指数 (J)、优势度指数 (C) 进行分析，结果见表 5。冬闲期对照田因为植被很少，因此多样性指数都明显低，但均匀度和优势度与黑麦草田和杂草地并没有明显地差别。黑麦草田与杂草地的上述 3 种指数都没有明显的差异。

表 4 不同生境水稻种植期六足动物类群数量及比例

Table 4 The number and proportion of different overwintering hexapod groups in rice habitat and non-rice habitat

| 类群 | 对照田 WF | | 杂草 WH | | 黑麦草田 IRG | | 合计 |
|-------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|----|
| | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | 密度/ (头·m ⁻²) | 百分比 /% | |
| 植食性动物 | 101.8 | 50.7 | 48 | 33.3 | 98.3 | 47.1 | |
| 捕食性天敌 | 10.5 | 5.2 | 10 | 6.9 | 13.3 | 6.4 | |
| 寄生性天敌 | 21 | 10.5 | 14 | 9.7 | 19.5 | 9.3 | |
| 中性昆虫 | 67.5 | 33.6 | 72 | 50.0 | 77.8 | 37.2 | |
| 总计 | 200.8 | 100.0 | 144 | 100.0 | 208.9 | 100.0 | |

表 5 不同生境六足动物群落多样性重要参数

Table 5 The parameters of community diversity of hexapods in rice habitat and non-rice habitat

| 时间 | 黑麦草田 | | | 对照田 | | | 杂草 | | |
|-----------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|
| | H' | J | C | H' | J | C | H' | J | C |
| 08.11.5 | 2.66 | 0.50 | 0.14 | 2.37 | 0.46 | 0.12 | - | - | - |
| ●08.12.8 | 2.76 | 0.80 | 0.11 | 1.67 | 0.76 | 0.21 | - | - | - |
| ●09.01.04 | 2.65 | 0.81 | 0.12 | 泡田, 未取到样 | | | - | - | - |
| 09.05.09 | 2.65 | 0.72 | 0.16 | 2.89 | 0.79 | 0.10 | 2.86 | 0.80 | 0.14 |
| 09.07.03 | 2.64 | 0.74 | 0.13 | 2.62 | 0.79 | 0.12 | 2.51 | 0.79 | 0.18 |
| ●09.12.21 | 2.75 | 0.76 | 0.16 | 1.49 | 0.93 | 0.25 | 2.53 | 0.78 | 0.13 |
| ●10.01.20 | 2.73 | 0.77 | 0.14 | 1.28 | 0.79 | 0.21 | 3.15 | 0.87 | 0.08 |
| ●10.03.01 | 2.30 | 0.76 | 0.23 | 泡田, 未取到样 | | | 3.17 | 0.86 | 0.07 |
| 10.06.10 | 2.75 | 0.77 | 0.12 | 2.69 | 0.76 | 0.14 | 2.56 | 0.73 | 0.19 |

● 冬种黑麦草, 尚未插秧

表 6 为水稻生长期 3 种环境下的 Jaccard 相似性指数, 可以看出 3 者间相似性差别不大, 但黑麦草田与对照田的相似性 > 黑麦草田与杂草的相似性 > 杂草与对照田的相似性。

表 6 不同生境六足动物在水稻生长期群落相似性

Table 6 Similarity coefficient of hexapod community in rice habitat and weed habitat

| 生境 | 2009-05-09 | | | 2009-07-03 | | | 2010-06-10 | | |
|--------|------------|------|-----|------------|------|-----|------------|------|-----|
| | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 |
| 对照田 WF | 0.48 | 0.59 | - | 0.54 | 0.64 | - | 0.58 | 0.67 | |
| 杂草 WH | | 0.56 | - | - | 0.61 | - | - | 0.60 | |

冬歇期 3 种环境的相似性指数如表 7, 可以看出黑麦草田与杂草的相似性远远高于 2 这分别与对照田的相似性。

表 7 不同生境主要六足动物冬闲期群落相似性

Table 7 Similarity coefficient of the overwintering hexapod community in Italian ryegrass habitat and weed habitat

| 生境 | 09.12.21 | | | 10.01.20 | | | 10.03.01 | | |
|--------|----------|------|------|----------|------|------|----------|----|------|
| | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 | 对照田 | 杂草 | 黑麦草 |
| 对照田 WF | - | 0.15 | 0.14 | - | 0.11 | 0.12 | - | - | - |
| 杂草 WH | - | - | 0.43 | - | - | 0.63 | - | - | 0.45 |

3 结论与讨论

不论是水稻种植期还是冬闲期, 稻田及周边杂草中双翅目都具有较高密度, 其中绝大部分为摇蚊, 这和田边的灌溉沟密切相关。稻田灌溉结束后, 灌溉沟内始终保持着低水状态, 而且富有有机质, 这就给摇蚊的繁殖创造了条件, 因此造成了稻田中性昆虫比例很高。水稻种植期正式稻飞虱发生的季节, 稻田内飞虱的密度很高, 造成试验田和对照田同翅目的优势, 而杂草地飞虱很少, 故不呈现同翅目的优势。冬闲期水稻已经收割, 飞虱的密度大大下降, 故同翅目不再成为优势。

冬闲期黑麦草田和杂草地都具有远较对照田丰富的昆虫资源, 膜翅目昆虫 (绝大多数为寄生性) 的比例在水稻种植期大幅提高, 说明杂草地和黑麦草田成为膜翅目越冬的重要场所, 对来年稻田害虫的控制十分重要。但采集的样品中, 黑麦草田鞘翅目密度要比杂草地的密度低, 这可能是因为黑麦草过于茂密, 很多甲虫躲藏在草下而无法被吸尘器吸入。但杂草地在冬季多数杂草死亡, 昆虫很容易被吸入, 这一现象在缨翅目中表现更为明显。事实上, 黑麦草田中过于茂密的黑麦草严重地影响到吸尘器捕获的六足动物数量。黑麦草田的六足动物的实际密度和多样性可能高于本研究的结果。

丰富度和优势度指数方面和张洁等^[7] 研究结果相似, 但第一次均匀度指数仅为 0.46 和 0.50, 而这一次取样时水稻将要收割, 说明水稻成熟可能对六足动物均匀度有影响。多样性指数明显要较张洁等^[2] 的结果高得多, 除冬闲期对照田多样性指数较低外, 其余每次采样的多样性指数都在 2.3 ~ 2.9 之间, 而且这 3 种指数在水稻种植期和冬闲期差别不大 (对照田除外)。但冬闲期杂草地两次取样的多样性指数要比黑麦草田高, 分别达到 3.15 和 3.17, 这是由于冬闲期杂草地草稀疏, 昆虫容易被吸取所导致。水稻种植期黑麦草田和对照田 Jaccard 相似性指数略高于黑麦草田和杂草地相似性系数, 而冬季时黑麦草田和杂草地的相似性相当

高,而与对照田则很低。说明植被是六足动物群落相似性的关键。

通过以上的结果分析可以得出以下结论:稻田冬季轮种黑麦草可以使六足动物的多样性很大程度上得到保护,为天敌昆虫(主要为寄生性的膜翅目)提供越冬和繁殖场所。当第二年春季开始插秧时,黑麦草田的六足动物就会转移到稻田中,使得稻田的六足动物多样性得以快速恢复,有效地控制植食性六足动物密度。

致谢:本研究得到了中山大学生命科学学院辛国荣教授,张文军教授,陈海东老师,李广宏博士的大力支持。参加田间采样的还有中山大学谢委才老师及硕士生魏武、刘阳。在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 王宇涛,辛国荣,杨中艺,等. 多花黑麦草的应用研究进展[J]. 草业科学,2010,27(3):118-123.
- [2] 辛国荣,李雪梅,杨中艺.“黑麦草-水稻”草田轮作系统根际效应研究 IV. 黑麦草根际土壤性状及其对水稻幼苗生长的影响[J]. 中山大学学报:自然科学版,2004,43(1):62-66.
- [3] 俞晓平,胡萃,HEONG K L. 非作物生境对农业害虫及其天敌的影响[J]. 中国生物防治,1996,12(3):130-133.
- [4] ALOMARO, GOULAM, ALBAJES R. Colonisation of tomato fields by predatory mirid bugs (Hemiptera: Heteroptera) in northern Spain[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 89(1/2):105-115.
- [5] HEONG K L, AQUINO G B, BARRION A T. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines[J]. Bulletin of Entomological Research, 1991, 81:407-416.
- [6] KREMEN C, MERENLENDER A M, MURPHY D D. Ecological monitoring: A vital need for integrated conservation and development programs in the tropics[J]. Conservation Biology, 1994, 8:388-397.
- [7] 张洁,胡良雄,刘杰,等. 稻田与非稻田生境越冬节肢动物群落调查与分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,2010,49(5):118-121.
- [8] 马克平,刘玉明. 生物多样性测度方法 I:a 多样性测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [20] PLACKETT R L, BURMAN J P. The design of optimum multifactorial experiments[J]. Biometrika, 1946, 33:305-325.
- [21] FOLIN O, CIOCALTEU V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins[J]. Journal of Biological Chemistry, 1927, 73:627-650.
- [22] SU G, REN J, YANG B, et al. Comparison of hydrolysis characteristics on defatted peanut meal proteins between a protease extract from *Aspergillus oryzae* and commercial proteases[J]. Food Chemistry, 2011, 126:1306-1311.
- [23] BROWN J H. The formol titration of bacteriological media[J]. Journal of Bacteriology, 1923, 8:245-267.
- [24] CHIANG W D, SHIH C J, CHU Y H. Functional properties of soy protein hydrolysate produced from a continuous membrane reactor system[J]. Food Chemistry, 1999, 65:189-194.
- [25] SHEN Y F, WANG F H, LAN D M, et al. Biochemical properties and potential applications of recombinant leucine aminopeptidase from *Bacillus kaustophilus* CCRC 11223[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12:7609-7625.
- [26] CHEN Q H, HE G Q, ALI M A M. Optimization of medium composition for the production of elastase by *Bacillus* sp. EL31410 with response surface methodology[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2002, 30:667-672.
- [27] BAI D, WU J, XU G, et al. Optimization of the production conditions of HMPC hydrolase employing response surface methodology[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2007, 26:71-76.
- [28] BENJAKUL S, MORRISEY M T. Protein hydrolysate from pacific whiting solid waste[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 61:131-138.
- [29] BHASKAR N, BENILA T, RADHA C, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of visceral waste proteins of Catla (*Catla catla*) for preparing protein hydrolysate using a commercial protease[J]. Bioresource Technology, 2008, 99:335-343.

(上接第86页)