

四粒红花生物料特性试验与测定

武天伦, 郭辉, 高国民, 罗丹, 刘家君

(新疆农业大学机电工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:以新疆中西部地区林果套种模式下的‘四粒红’花生为研究对象,在田间调研的基础上,应用微控电子万能试验机、MS-70 红外线水分测定仪和 ZRQF-F30J 手持式数显热球风速计等试验设备,研究花生在挖掘铺放晾晒过程中含水率,秧柄节点、果柄节点与果柄拉伸力,花生荚果破碎力以及花生荚果、茎秆和叶片在不同含水率下的风力悬浮速度范围。本研究初步确定了最佳的收获时间为花生晾晒后 5~7 d,此时花生秧蔓、果柄、花生荚果的含水率分别为 34.5% 降至 24.0%、22.0% 降至 16.0%、14.0% 降至 9.0%,果柄、秧柄节点、果柄节点的拉伸力分别为 14.95~15.10、12.50~12.90、8.45~8.60 N,花生荚果侧面、荚果正面、荚果立面破碎力分别为 45.0 N 降至 41.0 N、86.5 N 降至 70.3 N、42.0 N 降至 36.1 N,花生荚果、茎秆、花生叶片的风力悬浮速度分别为 5.82~6.97、2.43~2.77、1.97~2.44 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,研究结果为后续花生收获机械设计、研制提供参考。

关键词:花生;机械特性;含水率;悬浮速度

中图分类号:S225.7⁺3 **文献标志码:**A

Experiment and measurement of Silihong peanut plants characteristics

WU Tianlun, GUO Hui, GAO Guoming, LUO Dan, LIU Jiajun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: This study used Silihong peanut plants under the forest fruit intercropping mode in the central and western regions of Xinjiang as the research materials. Based on the field investigation of peanuts, it examined the moisture content, seedling stem node, fruit stem node and fruit stem stretching force, the anti-extrusion pressure of peanut pods, as well as the resistance of peanut pods to extrusion of the wind speed range of stems and leaves under different moisture levels. The optimum harvest time was preliminarily determined to be 5~7 days. During this time, the moisture content of peanut plant, fruit stalk and peanut pod were from 34.5% to 24.0%, from 22.0% to 16.0%, from 14.0% to 9.0% respectively. The tensile force of fruit stalk, seedling stalk node and fruit stalk node were 14.95~15.10, 12.50~12.90 N and 8.45~8.60 N respectively. The extrusion force of peanut pod side, pod front and pod end were from 45.0 N to 41.0 N, from 86.5 N to 70.3 N and from 42.0 N to 36.1 N respectively. The wind suspended velocities of peanut pod, stem and peanut leaf were 5.82~6.97, 2.43~2.77 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ and 1.97~2.44 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively. The study provides a parameter basis for design and development of subsequent peanut harvesting machinery.

Keywords: peanut plants; mechanical properties; moisture content; suspension velocity

花生又名“长生果”,是我国重要的经济作物,其种植面积广,是食品加工的重要原料,在我国农业中占据重要地位^[1-5]。花生营养价值很高且具有一定的药用功效。中国西北地区,尤其是新疆地区土地辽阔,气候干燥,降雨量少,适宜花生大面积

种植;加之新疆林果业十分发达,发展林下经济使新疆的花生种植产业拥有较大发展空间。据统计,2019年新疆花生种植面积约为 7 000 hm^2 ^[6]。在实际生产过程中,花生挖掘收起后会铺放在田间进行晾晒,待植株水分下降后再进行输送和摘果等作业。

目前中国已经研制出多种花生联合收获机械,如4HL-B型履带自走半喂入花生联合收获机、4HB-2A型轮式自走花生半喂入花生联合收获机、4HQL-2型履带式自走花生全喂入联合收获机等^[7]。因联合收获时花生植株以及根系的土壤含水率过大,经常会在摘果滚筒上缠绕,且花生植株内部连接力过强会导致摘净率低、清选和风选作业困难^[8-10]。因此对花生的物料特性进行研究是设计花生收获机械的重要环节,可为花生摘果装置、清选装置、风选装置的设计提供参考^[11-12]。

本研究使用游标卡尺和自卷式卷尺测量植株整体尺寸,得到花生植株高度和花生荚果直径、高度以及宽度^[13]。使用微控电子万能试验机进行花生植株的拉伸试验和花生荚果的静态压缩试验,得到花生植株的拉伸力和荚果的破碎力^[14];将花生植株以及荚果粉碎后,使用MS-70红外线水分测定仪测量晾晒周期内花生植株各部位的含水率变化情况,从而分析花生荚果的适宜收获时间^[15]。在不同含水率范围内使用ZRQF-F30J手持式数显热球风速计以及物料悬浮试验台测量花生荚果的风力悬浮速度,以保证不吹走花生荚果条件下能很好地将荚果与叶片和茎秆分离。

1 收获期花生生长情况调查

试验材料取自新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市新疆农业大学三坪农场,花生品种为‘四粒红’。试区土壤为沙土,种植制度为一年一熟,种植方式为大垄双行。试验样本选用田中无病虫害、无明显损伤、在自然条件下生长良好的花生植株,以成熟的花生荚果作为研究样本。所选花生植株及果柄部位如图1所示。

调研时间为2020年9月3—9日,随机选取3个

试验区分别进行田间检测,在检测区内(0.4 hm²花生试验田)从对角线等间距取5个点,并避开地边和地头,每个点取2 m²(2 m×1 m)设定为1个试验小区,在小区内进行试验^[16]。花生收获期田间调查结果如表1所示。

2 花生植株物料特性测定

2.1 花生秧蔓和荚果含水率测定

首先用收起条铺机对田间花生进行收起和条铺作业,设定花生刚出土条铺在田间的时间为起始时间,随机取10株样本,采用MS-70红外线水分测定仪(量程71 g,称重精度0.000 1 g)分别检测花生秧蔓、荚果和果柄的含水率,设定加热温度为300℃,加热时间为10 min,样品前后差值即为样品含水率变化值。由于花生刚从田间收起含水率在晾晒过程中下降速度较快,所以前3天的检测频率为每天4次(每6 h检测1次),后4天的检测频率为每天2次(12:00和20:00)。田间晾晒情况如图2所示。



1. 荚果; 2. 果柄节点; 3. 果柄; 4. 秧柄节点; 5. 秧蔓
1. Pod; 2. Carpophore node; 3. Carpophore;
4. Seedling stalk node; 5. Seedling vine

图1 四粒红花生植株及果柄部位

Fig.1 Silihong peanut plants and stalk parts

表1 花生收获期内田间调查结果

Table 1 Field investigation results of peanut at harvest period

序号 Serial number	调研对象 Research object	测定结果 Result	均值 Average	序号 Serial number	调研对象 Research object	测定结果 Result	均值 Average
1	垄高/cm Ridge height	8~12	10	6	垄间行距/cm Spacing between ridge	60~65	62.5
2	垄宽/cm Ridge width	65~70	67.5	7	植株高度/cm Plant height	60~100	80
3	单株花生果重/kg Peanut weight per plant	0.2~0.4	0.35	8	结果深度/cm Fruiting depth	7~13	10
4	株距/cm Plant spacing	15~20	17.5	9	结果直径/cm Fruiting diameter	17~23	20
5	垄内行距/cm Spacing in ridge	25~30	28.5	10	土壤含水率/% Soil moisture	15~55	35

花生晾晒日期为 2020 年 9 月 12—18 日。含水率监测期间晴天持续天数为 6 d, 无雨天, 多云 1 d; 白天气温为 22~31℃, 平均气温 26℃; 夜间气温为 9~14℃, 平均气温 11.3℃。

随着晾晒时间的变化, 花生秧蔓、果柄以及花生荚果的含水率变化如图 3 所示。从图 3 可以看出, 花生秧蔓、果柄和荚果整体含水率变化趋势相同。其中花生秧蔓含水率从 72% 降至 24%, 果柄含水率从 58% 降至 16%, 荚果含水率从 42% 降至 9%, 各部位均为前 4 天含水率变化最为明显。

2.2 花生果柄拉伸力测定

花生摘果作业就是把连接花生荚果的果柄拉断, 让花生掉落在清选装置中, 且果柄力学特性影响滚筒转速、机器前进速度(喂入量)等参数, 因此对花生植株的拉伸力分析尤为重要。

植株拉伸力采用瑞格尔-4002 2 KN 微控电子万能试验机测定, 试验前检查仪器并以 $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度进行试运行, 选择量程为 0~100 N, 选取秧柄节点(果柄与植株连接点)、果柄本身以及果柄节点(果柄与花生荚果连接处)3 个位置做拉伸试验。设定微控电子万能试验机加载速度为 $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 在相同条件下(夹持固定的位置、含水率、茎秆直径等)每组试验测定 5 次并取平均值。夹持固定位置如图 4 所示。

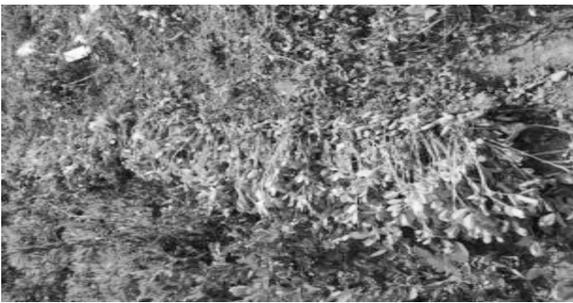


图 2 晾晒周期内花生植株变化情况

Fig.2 Changes of peanut plants in the drying cycle

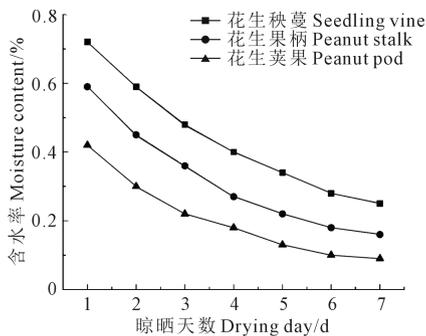


图 3 花生秧蔓、果柄、荚果含水率变化情况

Fig.3 Changes of moisture content in peanut seedling vine, fruit stalk and pod

根据试验结果绘制秧柄节点、果柄自身以及果柄节点随着晾晒时间变化的力学特性折线图, 如图 5 所示。从图 5 可以看出, 不同位置的拉伸力大小表现为果柄>秧柄节点>果柄节点。在晾晒第 1 天时(含水率最高)花生植株果柄、秧柄节点、果柄节点 3 个部位拉伸力最大, 分别为 23.7、19.8、13.5 N; 随着晾晒时间的增加, 植株含水率降低, 拉伸力也随之下降, 第 4 天过后各部位的拉伸力逐渐趋于稳定。进一步拟合得到果柄、秧柄节点和果柄节点拉伸力与晾晒时间之间的函数关系式:

$$N_1 = 0.3863X^2 - 4.3774X + 26.971 \quad (1)$$

$$N_2 = 0.356X^2 - 3.8798X + 22.743 \quad (2)$$

$$N_3 = 0.1851X^2 - 2.2363X + 15.107 \quad (3)$$

式中, N_1 、 N_2 、 N_3 分别为果柄拉伸力值、秧柄节点拉伸力值、果柄节点拉伸力值; X 为本部位含水率。通过分析, 花生果柄、秧柄节点、果柄节点拟合系数分别为 0.9877、0.9492、0.9948, 3 个拟合系数接近于 1, 函数关系拟合良好。

2.3 花生荚果的破碎力试验

花生荚果的破碎力是设计摘果装置钉齿以及摘果滚筒转速的重要参数。摘果滚筒转速过大或者钉齿对荚果的施加力过大会均造成花生荚果收获的损失率增加, 影响其经济效益。

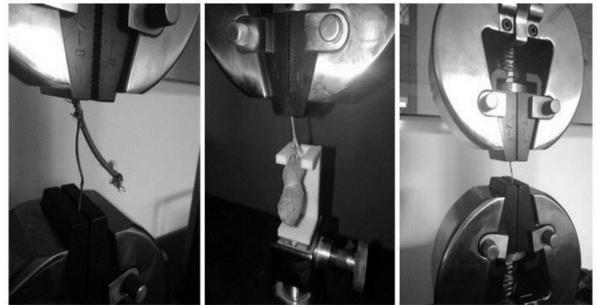


图 4 果柄不同位置拉伸试验

Fig.4 Tensile test on different positions of fruit stalk

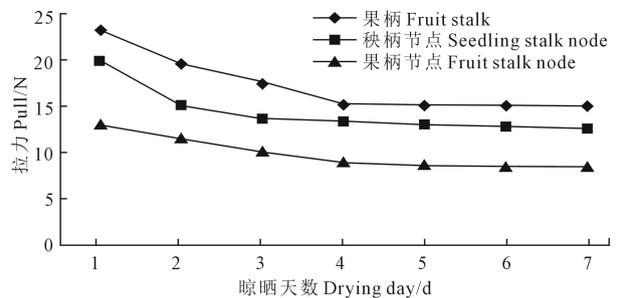


图 5 植株拉伸力随晾晒时间变化情况

Fig.5 Relationship between plant tensile force and drying time

取不同晾晒时间的花生荚果(7组,每组15颗且外形尺寸差异不大)使用微控电子万能试验机分别对其正面、侧面和立面进行挤压试验。为了能够及时发现花生荚果的破裂点,加载速度应足够小,故设定微控电子万能试验机加载速度为 $5\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$,破碎力试验如图6所示。

荚果破碎力随晾晒时间的变化曲线如图7所示。由图7可知,在晾晒前4天花生含水率较高,故需施加较大的压力才能使荚果破裂,晾晒后期随着自由水比例不断下降,荚果壳的韧性降低,荚果壳破裂所需要的压力随之减小。花生荚果侧面、正面和立面的破碎力随晾晒时间变化分别为 108.2 N 降至 41.0 N 、 183.0 N 降至 70.3 N 、 71.0 N 降至 36.1 N 。

2.4 花生荚果、茎秆、叶片风力悬浮速度试验

清选工作是整个花生摘果作业的最后一个环节,由于摘果过程中花生植株受到钉齿的打击力和离心力的作用,部分叶片和茎秆也掉落在输送装置上,所以在花生进入集果箱前要对其进行叶片、茎秆与荚果的分离。在风选作用下,既要保证将叶片和茎秆吹净,也要保证荚果不会随着叶片、茎秆一起被吹走,这就要求风机的转速要适中。

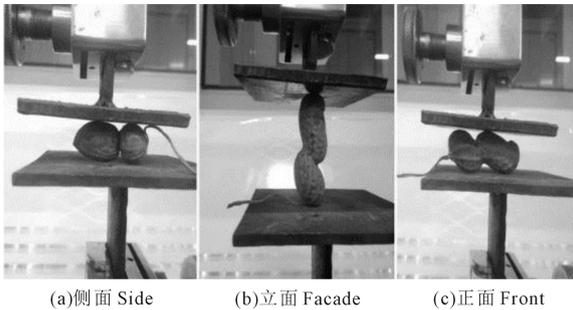


图6 荚果不同位置挤压试验

Fig.6 Extrusion test of peanut at different positions

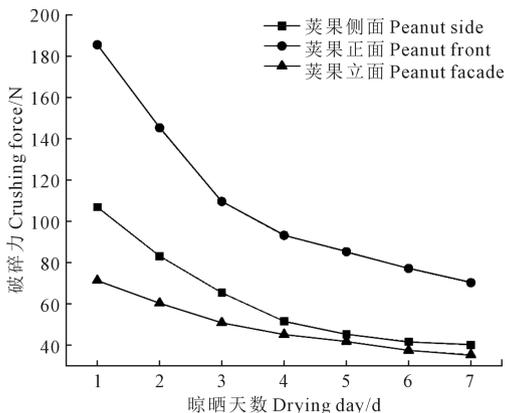


图7 荚果破碎力随晾晒时间变化情况

Fig.7 Relationship between pod breaking force and drying time

在不同晾晒时间分别选择5组样本(含花生荚果、茎秆、叶片且外形尺寸差别不大,当天 $18:00$ 时的样本),分别将花生荚果、叶片、茎秆放入待测物料筛盘中,启动风力悬浮试验台,通过变频器不断调节电机转速,使风力不断加大,直至物料集中稳定在某一区域内,在出风口处采用ZRQF-F30J手持式数显热球风速计进行风速的测量,共选取6个点,并取平均值。风力悬浮试验台如图8所示。

由表2可看出,花生荚果、茎秆以及叶片不同晾晒天数的悬浮速度平均值分别为 $5.82\sim 18.30$ 、 $2.43\sim 6.80$ 、 $1.44\sim 4.87\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随着晾晒时间增加,植株含水率逐渐降低(图3),三者的悬浮速度也随之下降,尤其是在晾晒前4天下降趋势最明显,晾晒的后3天由于自由水的比例减小至极限区间导致悬浮速度下降趋势变缓。此时进行风选效果最好,消耗功率最小。

3 结论

1) 在晾晒期内,花生秧蔓、果柄、荚果含水率分别由 72% 、 58% 、 42% 降至 24% 、 16% 、 9% 。

2) 花生秧柄节点、果柄、果柄节点拉伸力的变化区间分别为 $12.50\sim 19.80$ 、 $14.95\sim 23.20$ 、 $8.45\sim 13.00\text{ N}$;花生秧柄节点、花生果柄以及果柄节点拉伸力与晾晒时间之间存在二次函数关系,拟合效果良



图8 荚果、茎秆、叶片风力悬浮试验

Fig.8 Wind suspension test of pod, stem and leaf

表2 花生荚果、茎秆、叶片悬浮速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$

Table 2 Levitation speed of pod, stem and leaf

晾晒天数/d Drying day	悬浮速度 Levitation speed		
	荚果 Pod	茎秆 Stem	叶片 Peanut leave
1	18.30	6.80	4.87
2	14.74	5.80	3.94
3	10.82	4.00	3.24
4	7.44	3.15	2.30
5	6.97	2.77	1.97
6	6.13	2.56	1.60
7	5.82	2.43	1.44

好 ($R^2 > 0.9870$)。花生荚果侧面、正面和立面破碎力随着晾晒时间变化分别为 108.2 N 降至 41.0 N、183.0 N 降至 70.3 N、71.0 N 降至 36.1 N。

3) 花生荚果、花生茎秆和叶片悬浮速度区间分别为 5.82~18.30、2.43~6.80、1.44~4.87 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

基于花生秧柄节点、花生果柄以及果柄节点拉伸力随晾晒时间的变化趋势,花生荚果正面、侧面、立面的破碎力变化趋势以及花生荚果、花生茎秆和叶片风力悬浮速度的变化范围,确定花生的适收期为晾晒期内的 5~7 d。

参考文献:

- [1] 刘娟, 汤丰收, 张俊, 等. 国内花生生产技术现状及发展趋势研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(22): 13-18.
LIU J, TANG F S, ZHANG J, et al. Current status and development trends of peanut production technology in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(22): 13-18.
- [2] 高连兴, 陈中玉, CHEN C, 等. 美国花生收获机械化技术演变历程及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 1-9.
GAO L X, CHEN Z Y, CHEN C, et al. Development course of peanut harvest mechanization technology of the United States and enlightenment to China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(12): 1-9.
- [3] 尚书旗, 刘曙光, 王方艳, 等. 花生生产机械的研究现状与进展分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 143-147.
SHANG S Q, LIU S G, WANG F Y, et al. Current situation and development of peanut production machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 143-147.
- [4] 夏桂敏, 姚珍珠, 王淑君, 等. 水分胁迫和斜发沸石应用对花生产量及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(1): 133-139, 220.
XIA G M, YAO Z Z, WANG S J, et al. Effects of water stress and clinoptilolite application on yield and water use of peanut [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(1): 133-139, 220.
- [5] 万书波, 张智猛, 郭峰, 等. 花生优质高效生产农机农艺融合的必要性与发展趋势[J]. 花生学报, 2013, 42(4): 1-6.
WAN S B, ZHANG Z M, GUO F, et al. The necessity and trend of the combination of agricultural machinery and agronomy in peanut production[J]. Journal of Peanut Science, 2013, 42(4): 1-6.
- [6] 陈中玉, 高连兴, CHEN C, 等. 中美花生收获机械化技术现状与发展分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 1-21.
CHEN Z Y, GAO L X, CHEN C, et al. Analysis on technology status and development of peanut harvest mechanization of China and the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 1-21.
- [7] 刘春香, 段宝成, 衣淑娟, 等. 水稻收获打捆一体机打捆试验研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(11): 185-191.
LIU C X, DUAN B C, YI S J, et al. The binding test of rice harvesting and machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(11): 185-191.
- [8] 徐继康, 杨然兵, 李瑞川, 等. 半喂入花生收获机除膜摘果装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(增刊1): 88-93.
XU J K, YANG R B, LI R C, et al. Design and experiment of film removing and peanut picking device for half-feeding harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(S1): 88-93.
- [9] 王伯凯, 胡志超, 吴努, 等. 4HZB—2A 花生摘果机的设计与试验[J]. 中国农机化, 2012, (1): 111-114.
WANG B K, HU Z C, WU N, et al. Design and experiments of 4HZB-2A peanut picker[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012, (1): 111-114.
- [10] 杨然兵. 4HQL-2 型花生联合收获机主要装置的设计与试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
YANG R B. Study on design principle and tests for main parts of 4HQL-2 peanut combine[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009.
- [11] 胡志超, 彭宝良, 尹文庆, 等. 4LH2 型半喂入自走式花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 148-153.
HU Z C, PENG B L, YIN W Q, et al. Design of 4LH2 type half-feed and self-propelled peanut combine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 148-153.
- [12] 梁明, 栾玉娜. 收获后花生植株力学特性研究[J]. 农业科技与装备, 2013, (2): 49-51.
LIANG M, LUAN Y N. Research on mechanical properties of post-harvest peanut plants[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2013, (2): 49-51.
- [13] GÜZEL E, AKÇALI İ D, MUTLU H, et al. Research on the fatigue behavior for peanut shelling[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(3): 373-378.
- [14] 沈一, 刘永惠, 陈志德. 不同花生品种(系)果柄拉力强度测试和荚果主要性状调查[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 82-83.
SHEN Y, LIU Y H, CHEN Z D. Test on the tensile strength of the fruit stalk and investigation on the main characters of the pod of different peanut cultivars (lines) [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(10): 82-83.
- [15] 关萌, 沈永哲, 高连兴, 等. 花生起挖晾晒后的果柄机械特性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 87-93.
GUAN M, SHEN Y Z, GAO L X, et al. Mechanical properties of peanut peg after digging and drying[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(2): 87-93.
- [16] 尚书旗, 李国莹, 杨然兵, 等. 4HQL-2 型全喂入花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 125-130.
SHANG S Q, LI G Y, YANG R B, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 125-130.