

全履带式再生稻收割机行走底盘碾压率的模拟与分析

雷志强^{1,2}, 张国忠^{1,2*}, 彭少兵³, 卢康^{1,2}, 付建伟^{1,2}, 查显涛^{1,2}, 周勇^{1,2}

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 湖北省现代农业装备工程技术研究中心, 武汉 430070;
3. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘要:为减少全履带式再生稻收割机收获再生稻头季时行走底盘对留桩的碾压率(履带碾压面积与收割面积的比值),以利于提高再生季水稻产量、并改善再生季稻米品质,基于履带式车辆设计理论,以割幅 Z 、轨距 B 、履带接地长度 L 、履带宽度 b 、转向半径 R_0 、底盘中心轴线与割台割刀纵向距离 X 为影响因素,建立了全履带式再生稻收割机行走底盘结构模型及其田间直行转弯碾压模型,以种植行距 i 、株距 c 、穴径 b_r 的水稻为对象,对上述各参数对碾压率的影响规律进行了分析,结果表明,其他参数相同条件下,直行时,碾压率 δ_1 随割幅 Z 与履带宽度 b 的比值增加而减小;转弯时,全履带式再生稻收割机碾压率 δ_2 随转向角度 θ 增大而减小,随转向半径 R_0 的增大而减小;碾压率不受底盘中心轴线与割台割刀纵向距离 X 的影响;轨距 B 以及割幅 Z 与轨距 B 之差为行距和株距的公倍数时有利于减少碾压率;在相同接地比压条件下,割幅 Z 增加有利于减少碾压率。为减少碾压率,全履带式再生稻收割机结构设计时,在满足接地比压前提下,应减少履带宽度 b 和接地长度 L ,增大割幅 Z ,轨距 B 取行距和株距的公倍数,割幅 Z 与轨距 B 之差为行距和株距的最小公倍数,采用回转式行走路径;结合田块形状与面积,优先选用较大转向半径 R_0 ;在农艺上,建议水稻种植行距与株距有整数倍关系。

关键词:再生稻;收割机;履带底盘;碾压率;模拟;建模

中图分类号: S233.71

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)04-0738-06

Simulation and analysis of the stubble pushing rate by chassis of the completely tracked harvester for the ratoon rice

LEI Zhiqiang^{1,2}, ZHANG Guozhong^{1,2}, PENG Shaobing³, LU Kang^{1,2},
FU Jianwei^{1,2}, ZHA Xiantao^{1,2}, ZHOU Yong^{1,2}

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;

2. Modern Agricultural Equipment Engineer Technology Research Center of Hubei Province, Wuhan 430070;

3. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract: Reducing the rate of stubble pushing (Ratio between the pushed stubble area and the area of harvesting) by chassis of the completely tracked harvester in the mechanical harvest processing of the first crop of the ratoon rice can not only ensure the yield, but also improve the quality of the ratoon rice. Based on the tracked vehicles design theory, six influential factors were chosen to analyze: the width of the cutting range Z , the track gauge B , the length of the track on ground L , the width of the track b , the turning radius R_0 , the longitudinal distance between the central axis of chassis and cutter of cutting platform X . Both a structure model of the chassis of the completely tracked ratoon rice harvester and a stubble pushing model (going straight and turning) in the field were established. Furthermore, a rice planting model was set as follows: its planting row spacing was i , hill spacing was c , and hill diameter was b_r in the field. And then the influences of various parameters on the stubble pushing rate were analyzed. Under the same planting conditions and the parameters of the completely tracked harvester, the results showed that the stubble pushing rate δ_1 decreased with the ratio of Z to b increased when the harvester was on straight way; while on turning way, the δ_2 decreased with the turning angle θ and R_0 increased.

收稿日期: 2016-12-15

基金项目: 863 计划子课题(2014AA10A605-8), 中央高校基本科研业务费专项(2014PY043)和湖北省水稻农技推广(4005-453150010302)共同资助。

作者简介: 雷志强, 硕士研究生。E-mail: 420692917@qq.com

* 通信作者: 张国忠, 教授。E-mail: zhanggz@mail.hzau.edu.cn

The stubble pushing rate was not affected by X . Both B and the difference between Z and B were the least common multiple between the row spacing and the hill spacing was conducive to reducing the stubble pushing rate. Under the condition of the same ground pressure, the increase of Z was beneficial to reducing the stubble pushing rate. When a completely tracked ratoon rice harvester was designed for working in a paddy field, some rules could be used for reducing the stubble pushing rate. For example, B and L should be reduced under the premise of satisfying the ground pressure; Z should be increased; B and the space between Z and B should be the least common multiple between the row spacing and the hill spacing. A rotary walking path and the preferable large turning radius R_0 should also be used by combining the shape with the area of the field. Practically, the integer relation between the rice planting row spacing and the hill spacing was suggested.

Key words: ratoon rice; harvester; tracked chassis; the rate of stubble pushing; simulation; modeling

再生稻是利用收割后稻桩上存活的休眠芽进行培育, 使之抽穗再次成熟的一类水稻品种, 具有生育期短、可充分利用温光资源、一种两收、米质优、省工、省种、省水、省药、省秧田和增产增收等优点, 我国约有 350 万 hm^2 水田适合推广种植再生稻^[1-4]。但由于再生稻头季收割有低碾压、高留茬及湿泥脚田作业等农艺要求, 现有水稻收割机技术难以满足, 致使其推广受到限制^[5]。行走底盘及割台作为收割机重要工作部件, 其结构尺寸参数对碾压面积有直接影响, 一般地, 将履带式收割机履带碾压面积与收割面积的比值定义为碾压率, 则现有收割机碾压率高达 30%~40%^[6]。碾压率过高, 造成再生稻后季产量下降, 再生季稻米品质下降, 经济效益降低, 因此设计可满足再生稻头季收获低碾压率要求的水稻联合收割机对再生稻推广种植具有重要意义。

近年来, 在减少收割机田间行走碾压问题上, 国内学者做了相关研究。如张国忠等^[7]采用井关 PG6 型高地隙轻型插秧机底盘设计制造了再生稻割穗机, 该机采用水田行走胶轮, 轮宽仅 140 mm, 沿再生稻头季种植行间行走, 对再生稻割茬碾压极小。该机主要缺点为在湿软深泥脚田里下陷过深和下陷后转向不便。邢全道等^[8]为了减少植保施肥机对水稻苗的碾压, 设计了一种窄形橡胶履带式植保机械, 该机能有效减少压苗率, 但也存在田间陷深大的缺陷。郭翰林等^[9]提出再生稻头季收割机设计宜采用轮式底盘结构, 认为轮式行走结构具有转向半径小、转向灵活的特点, 并提出轮式收割机械田间行走重复碾压行的收割方式能减小碾压率。何水清等^[10]则提出机收再生稻头季稻时, 可以重复利用履带的碾压行, 以此来减少被压行数。钱太平^[11]、刘长华等^[12]提出须加强农机与农艺相结合, 选取茎秆基部坚韧性好的品种作为再生稻, 并控制好收获时田间土壤含水率, 减轻履带式联合收割机自重, 从而减少收获时的机械碾压损失。卓刚等^[13]也提出

需发展重量轻, 履带窄的再生稻收割机的建议。

上述这些研究提出了减少再生稻头季收获碾压率的一些具体措施, 但并未对碾压率与联合收割机整机参数间的关系进行定量分析。由于再生稻头季收获时田间土壤含水率高, 相较其他行走装置, 全履带式行走底盘具有不易下陷、通过性好的优点, 其实用性更好。为此, 本研究对全履带式再生稻收割机行走底盘碾压过程以及底盘结构参数对碾压率间的影响关系进行了分析, 以期履带式再生稻收割机行走底盘的设计提供依据。

1 全履带式收割机行走底盘结构模型

假定收割机割台割幅为 Z , 两履带纵向对称中心之间的距离为轨距 B , 履带接地长度为 L , 履带宽度为 b , 底盘水平中心轴线与割台割刀纵向距离为 X , 割台相对底盘中心纵向对称布置, 从而建立全履带式再生稻收割机结构模型 (如图 1)。

2 全履带式收割机碾压模型建立与分析

再生稻收获中, 全履带式收割机地头直行及转弯对已收割稻茬碾压, 是造成再生稻产量下降, 米质降低的重要原因, 为此, 建立如下碾压模型:

收割机沿直线方向行驶 (简称直行), 当割台到达图 2 中 A_1A_2 位置时, 整机开始沿履带水平中心线 M_1M_3 延长线上一点 O 为转向中心进行转向;

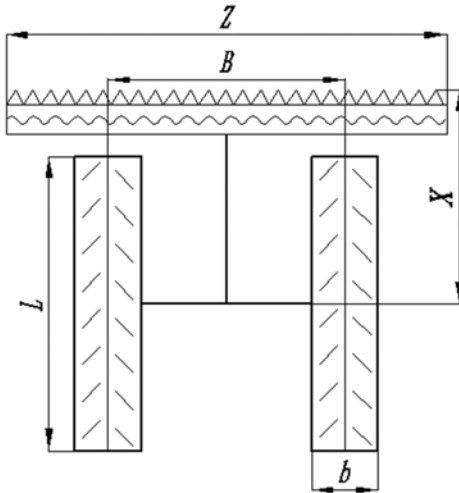
在直行阶段, 左、右侧履带碾压区域分别为图 2 中矩形区域 $P_1P_1'P_2'P_2$ 和 $P_3P_3'P_4'P_4$;

在直行阶段终点, 收割机开始转向, 当转向角为 θ 时, 割台转至 $A_1'A_2'$, 此时右侧履带扫过图 3 中回转半径分别为 R_3 、 R_2 形成的扇环区 S_2 , 左侧履带扫过图 3 中回转半径分别是 R_0 、 R_1 扫成的扇环区 S_1 ; 转向阶段割台收割区为不规则环形区域 $A_1A_1'A_2'A_2$ 。

由图 2 确定如下转向位置点及转向关系:

O 为转向中心; O_1 为履带水平中心线 $\overline{M_1M_3}$ 中

点; R_0 为履带最小回转半径, 转向中心 O 点到右侧履带外侧 M_3 点间距离, m ; θ 为转向角, $^\circ$; $\overline{OM_1}$ 为履带水平中心线; R_1 为右侧履带最大转向半径, 转向中心 O 到右侧履带外侧端点 P_2 之间距离 $\overline{OP_2}$, m ; R_2 为左侧履带最小转向半径, 转向中心 O 到左侧履带内侧中心点 M_2 为间距离 $\overline{OM_2}$, m ; R_3 为左侧履带最大转向半径, 转向中心 O 到左侧履带外侧端点 P_4 间的距离 $\overline{OP_4}$, m ; 上述碾压模型基于如下假设条件建立^[14-16]:



1. Z-割幅; 2. B-轨距; 3. L-接地长度; 4. b-履带宽度; 5. X-底盘中心轴线与割台割刀纵向距离
1. Z-Cutting range; 2. B- Track gauge; 3. L-Grounding Length; 4. b-Width of track; 5. X-Longitudinal distance between central axis of chassis and cutter of cutting platform

图 1 全履带式收割机结构模型

Figure 1 Structure model of completely tracked harvester

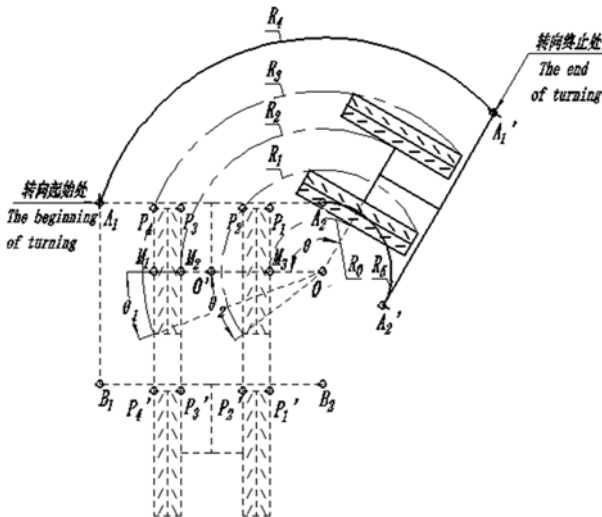


图 2 全履带式收割机直行、转弯碾压模型

Figure 2 Rolling model of going straight and turning for completely tracked harvester

(1) 转向中心 O 位于两条履带接地几何中心连线 $\overline{M_1M_3}$ 的延长线上;

(2) 忽略履带转弯时的纵向滑移和横向滑移;
(3) 忽略再生稻田间株行距等分布参数影响。
由图 1 和图 2 可确定如下参数关系:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \sqrt{(R_0 + b)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \\ R_2 = R_0 + B \\ R_3 = \sqrt{(R_0 + B + b)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \\ R_4 = \sqrt{\left(R_0 + \frac{Z + B + b}{2}\right)^2 + X^2} \\ R_5 = \sqrt{\left(R_0 + \frac{Z - B - b}{2}\right)^2 + X^2} \\ \theta_1 = \arcsin\left(\frac{L}{2R_3}\right) \\ \theta_2 = \arcsin\left(\frac{L}{2R_1}\right) \end{array} \right. \quad (1)$$

R_4 为割台最大转向半径, 转向中心 O 到割台端点 A_1 间距离 $\overline{OA_1}$, m ; R_5 割台最小转向半径, 转向中心 O 到割台端点 A_2 间距离 $\overline{OA_2}$, m 。

(1) 从而可知全履带式收割机直行时碾压率 δ_1 可由式 (2) 计算得出: $\delta_1 = 2b/Z$ (2)

(2) 由于当转向角为 θ 时, 全履带式收割机底盘左右履带形成碾压面积 S_1, S_2 , 其大小可由式 (3) 计算得出:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 = \frac{\theta}{360} \pi (R_1^2 - R_0^2) + \frac{\theta_2}{180} \pi R_1^2 - \frac{L}{2} (R_0 + b) \\ S_2 = \frac{\theta}{360} \pi (R_3^2 - R_2^2) + \frac{\theta_1}{180} \pi R_3^2 - \frac{L}{2} (R_0 + B + b) \end{array} \right. \quad (3)$$

而割台转向收割面积 A_s 可由式 (4) 计算得出:

$$A_s = \frac{\theta}{360} \pi (R_4^2 - R_5^2) = \frac{\theta}{360} \pi Z (2R_0 + B + b) \quad (4)$$

从而确定全履带式收割机转向时碾压率 δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{S_1 + S_2}{A_s} \quad (5)$$

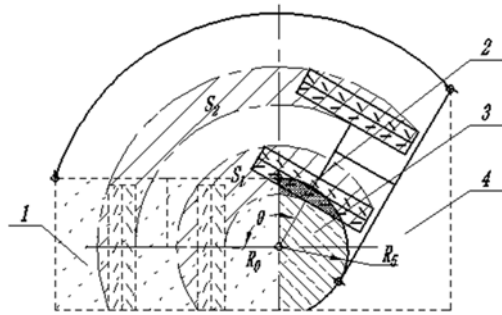
3 碾压率优化分析

3.1 转向半径 R_0 的确定

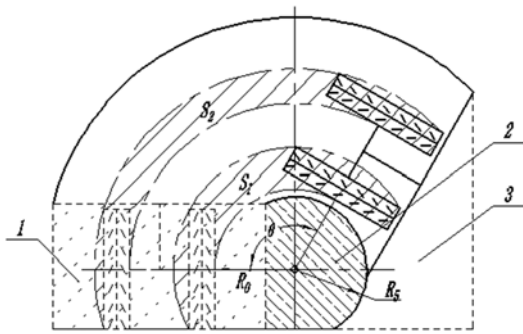
当全履带式收割机履带转向半径 R_0 过小时, 会导致履带碾压到未收割作物形成未割作物碾压区, 如图 3 (a) 中阴影部分显示; 当转向半径 $R_0 \geq R_5$ 时, 才能避免上述区域出现。因此, R_5 为割台转向理想最小半径, 根据图 1 以及图 3 (b) 位置关系, 此时履带最小转向半径 R_0 需满足:

$$R_0 \geq \frac{Z - B - b}{4} + \frac{X^2}{Z - B - b} \quad (6)$$

基于前述全履带式收割机行走底盘结构模型, 假定割幅 Z , 轨距 B , 履带接地长度 L , 履带宽度 b , 底盘中心轴线与割台割刀纵向距离 X 均为定值, 割台相对底盘中心对称布置, 对式 (5) 分析可知, 随转向半径 R_0 增加, 转向碾压率 δ_2 减小。



1.已割区; 2.未割作物被碾压区; 3.漏割区; 4.待割区
1.The harvested area; 2.The rolled un-harvested area; 3.Fail to harvest area; 4.To be harvested area
(a) $R_0 < R_5$



1.已割区; 2.漏割区; 3.待割区
1.The harvested area; 2.Fail to harvest area; 3. To be harvested area
(b) $R_0 > R_5$

图 3 转向碾压情形

Figure 3 Situation of rolling in turning

由图 4 可知, 为减小碾压率, 全履带式收割机田间收获时, 结合田块形状与面积, 优先选用较大转向半径 R_0 。

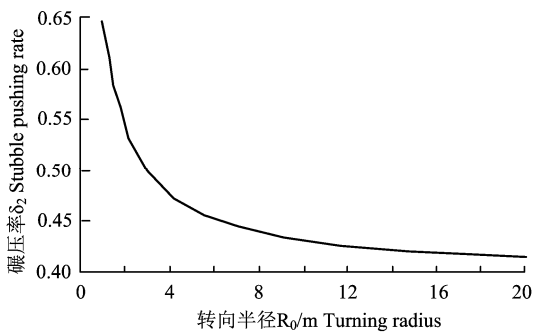


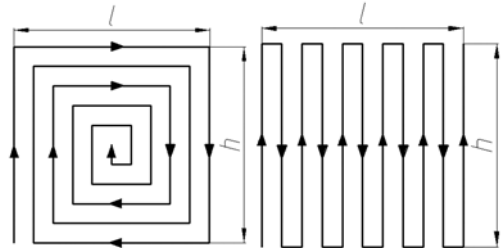
图 4 转向碾压率 δ_2 随 R_0 变化曲线

Figure 4 Curver of stubble pushing rate δ_2 with turning radius R_0

以久保田 PRO688Q 收割机为例^[17], 其轨距 B 为 1.15 m, 轨带宽度 b 为 0.4 m, 接地长度 L 为 1.6 m, 割幅 Z 为 2 m, 对其进行分析, 其转向碾压率 δ_2 与 R_0 间变化关系如图 4 所示。

3.2 收获路径的确定

理论上联合收割机在田间收获时可沿回转式路径和折叠式路径两种收获方式进行收获, 如图 5 所示。



(a) 回转式收获路径 (b) 折叠式收获路径

(a) Rotary harvesting path (b) Folded harvesting path

图 5 收获路径

Figure 5 Path of harvesting

对式 (5) 展开分析可知, 在底盘各结构参数以及转弯半径相同的条件下, 转向碾压率随转向角度的增大而减小。但同时由图 3 可见, 当收割机转弯角 $\theta > 90^\circ$ 时会产生漏割区, 尤其当同时存在 $R_0 < R_5$ 时, 履带还会碾压未切割作物形成未割作物碾压区, 从而产生较大收获损失并降低作业效率。此外, 相较折叠式路径, 回转式路径可减少拐弯时间和油耗, 驾驶员操作强度较小, 有利于增加收获的稳定性和提高收获效率, 因此回转式路径为履带式收割机田间收获优化路径, 其主要由 90° 拐弯和直行组成^[18]。

3.3 履带宽度 b 及直行碾压方式的确定

由式 (2) 和 (5) 可知, 其他参数相同条件下, 履带式收割机田间碾压率随履带宽度 b 的减小而减小, 因此全履带式再生稻收割机行走底盘应采用较窄的履带宽度 b 。

生产实际中再生稻按照农艺要求在田间成行成穴分布, 假定其种植行距为 i , 株距为 c , 随植株的生长, 每穴水稻成熟时下部茎秆将在直径为 b_r 的范围内分布, 如图 6 所示。

结合前述 3.2 节收割路径的确定可见, 全履带式收割机田间直行路径主要由沿种植行方向行走和沿垂直种植行方向行走组成, 理论上履带沿水稻植株行间行走, 可使直行碾压率 δ_1 为 0, 从而履带宽度 b 需满足下式:

$$(0 < b < i - b_r) \cup (0 < b < c - b_r) \quad (7)$$

为满足再生稻收割机田间通过性要求，其接地比压要求 $\leq 24 \text{ kPa}^{[14-16]}$ 。受再生稻收割机整机质量的影响，履带宽度不可过窄，现有全履带式收割机履带宽度多为 $0.4\sim 0.45 \text{ m}$ 。同时，经实际调查，目前湖北省再生稻种植品种很多，种植行距 i 多为 0.3 m ，株距 c 约为 0.15 m ，水稻成熟时下部茎秆分布直径 b_r 约为 $0.08\sim 0.1 \text{ m}$ ，因此当履带宽度大于 0.22 m 时已不能满足式(7)要求，即不能依靠沿行间行走方式减少对水稻植株的碾压，履带对田间植株碾压不可避免。

由于再生稻种植时行距 $i >$ 株距 c ，因此，在相同履带宽度下，现有全履带式收割机履带沿种植行方向行走对田间植株的碾压小于沿垂直种植行方向行走(如图6)。

为此，为减少直行碾压率 δ_1 ，履带式再生稻收割机履带宽度 b 及直行碾压方式可按照如下原则确定：

(1) 全履带式收割机直行时，优先采用沿种植行方向行走的路径，并尽量减少沿垂直种植行方向行走距离，有利于减少直行碾压率；

(2) 在满足接地比压要求前提下，尽量减少整机质量，从而减小履带宽度。

采取沿种植行方向行走，当单条履带中线对准某单行植株，履带宽度 b 满足下式(8)时，可使单条履带仅碾压 x 行植株：

$$xi - b_r < b < (x + 1)i - b_r \quad (8)$$

式中， x 为单条履带碾压植株行数，非负整数。根据生产实际情况， x 取最小值1。

基于已有研究结果^[7]和以上分析，履带宽度 $0.3 \text{ m} \leq b \leq 0.5 \text{ m}$ 较为合适，在满足接地比压和通过性要求前提下，尽量取小值。

3.4 轨距 B 的确定

当单履带碾压情况确定后，可对另一条履带的分布情形进行分析，以保证直行时双履带对田间植株的碾压同时最小。由图6可知，在履带宽度 b 满足式(8)前提下，轨距 B 满足式(9)时，可保证直行时两条履带碾压情况相同，且均为最小：

$$B = ki \quad (9)$$

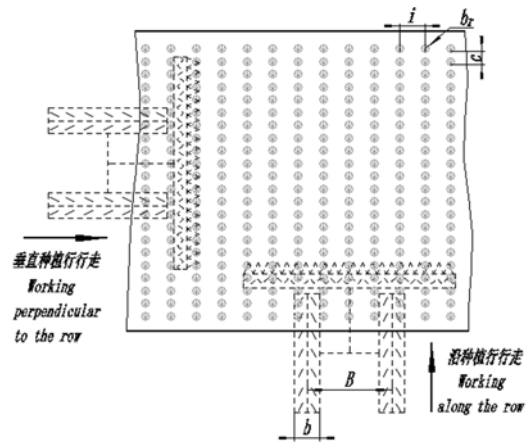
式中， k 为非负整数。即轨距 B 为种植行距 i 的整数倍^[19]。

基于水稻成行成穴种植，履带式收割机田间转向后一般沿垂直种植行方向行走，此时，为减少碾压率，显然也应满足：

$$B = nc \quad (10)$$

式(10)中， n 为非负整数，即轨距 B 也为种植穴距 c 的整数倍。

由此可见，轨距 B 为行距和株距的公倍数，且农艺上水稻行距与株距有整数倍关系，有利于减少碾压率。

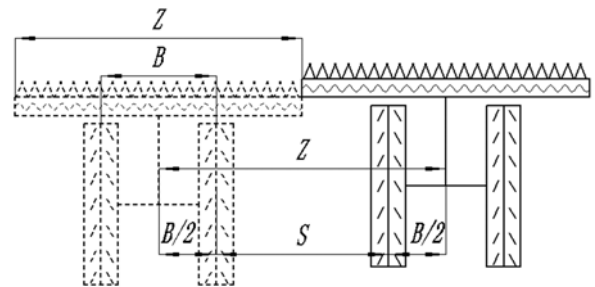


1. i -行距; 2. b_r -穴径; 3. c -株距; 4. b -履带宽度; 5. B -轨距

1. i -Row spacing; 2. b_r -Diameter of hill; 3. c -Hill spacing;
4. b -Width of the track; 5. B -Track gauge

图6 收割机田间行走模型

Figure 6 Moving model in field of harvester



1. Z -割幅; 2. B -轨距; 3. S -相邻两幅履带轨迹中心距

1. Z -Cutting range; 2. B -Track gauge; 3. S -Track center distance of two adjacent tracks

图7 割幅 Z 的确定

Figure 7 Confirming working width

3.5 割幅 Z 的确定

为提高作业效率，收割机收割时应尽量采用满幅作业，并且保证相邻两割幅间无漏割(见图7)。

由式(2)和(5)可知，在满幅且无漏割作业条件下，随割幅 Z 增加，碾压率减少；但在相同行走速度条件下，割幅 Z 增加会致使整机工作负荷增加、整机结构质量增加，在相同履带宽度以及接地长度条件下，接地比压增加，通过性降低，因此割幅 Z 的增加必须考虑接地比压的限制。

如图7所示，在满幅且无漏割作业条件下，为减小碾压率，还需使相邻两幅的碾压轨迹间中心距

S 满足如下关系:

$$(S = Z - B = ki) \cup (S = Z - B = nc) \quad (11)$$

上式中, k 与 n 均为非负整数。因此当割幅 Z 与轨距 B 之差为行距和株距的最小公倍数时, 也能有效减少碾压率。

如为增加收割机工作能力, 在增大割幅的同时, 可按照转向性能及接地比压关系增大履带宽度 b 。

3.6 底盘中心轴线与割台割刀纵向距离 X 及接地长度 L 的确定

由式 (2) 与 (5) 展开分析可知, 距离 X 对碾压率大小不影响, 但对转向半径 R_0 存在影响, 考虑收割机整体布置结构宜紧凑以及转向半径较小可使收割机工作效率提高, 因此, X 应尽量取小值。

结合式 (3)、(4) 和 (5) 可以看出, 当接地长度 L 越大时, 转向碾压率越大, 故在设计收割机时应尽量减小 L 值, 但同时需满足接地比压的要求。

4 结论

为减少再生稻头季稻机械化收获过程中收割机对留桩的碾压, 以割幅 Z 、轨距 B 、履带接地长度 L 、履带宽度 b 、转向半径 R_0 、底盘中心轴线与割台割刀纵向距离 X 为影响因素, 建立了全履带式再生稻收割机行走底盘田间直行和转弯条件下的碾压模型。

为减少碾压率, 全履带式再生稻收割机结构设计上, 在满足接地比压前提下尽量减少履带宽度 b 和接地长度 L , 增大割幅 Z , 轨距 B 取行距和株距的公倍数, 割幅 Z 与轨距 B 之差为行距和株距的最小公倍数; 在行走方式上, 田间以回转式路径行走, 且以大转向半径进行作业, 并沿种植行方向行走, 控制收割机对行碾压; 在农艺上, 建议水稻种植行距与株距有整数倍关系。

本研究为全履带式再生稻收割机行走底盘优化设计提供理论依据, 可为减少全履带式行走底盘对再生稻割茬碾压提供参考。

参考文献:

[1] 朱永川, 熊洪, 徐富贤, 等. 再生稻栽培技术的研究进

展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 1-8.

- [2] 林文雄, 陈鸿飞, 张志兴, 等. 再生稻产量形成的生理生态特性与关键栽培技术的研究与展望[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 392-401.
- [3] 马晓春. 中稻蓄留再生稻品种筛选与头季收获方式对再生季产量的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [4] 刘正忠, 刘秀斌, 罗美玉. 中稻-再生稻适宜机收品种筛选试验初报[J]. 种子世界, 2014(9): 27-29.
- [5] 刘正忠. 再生稻头季机收关键技术分析[J]. 农业科技通讯, 2013(4): 118-120.
- [6] 易齐圣. 浅谈再生稻生产中的农机与农艺融合[J]. 湖北农机化, 2016(5): 51-52.
- [7] 张国忠, 张翼翔, 黄见良, 等. 再生稻割穗机的设计与性能试验[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(1): 131-136.
- [8] 邢全道, 何瑞银, 何彦平, 等. 高地隙窄形橡胶履带式水旱兼用行走系统设计[J]. 江西农业学报, 2013, 25(7): 102-104.
- [9] 郭翰林, 林建, 施火结, 等. 再生稻头季收获机械化的现状与发展趋势[J]. 福建农机, 2016(1): 16-18.
- [10] 何水清, 党洪阳, 王玉猛. 水稻一季+再生头季稻机收技术[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 787-789.
- [11] 钱太平, 梅少华, 张键, 等. 再生稻不同留桩高度和收割方式的产量及其构成因素分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(1): 14-17.
- [12] 刘长华, 皮少成, 陈鹏宇. 湖北积极探索再生稻生产机械化[J]. 农机科技推广, 2015(4): 14.
- [13] 卓刚, 许夕文. 川南浅丘地区中稻机械化收割的优劣势及再生稻生产发展思路[J]. 现代农业科技, 2015(9): 62.
- [14] 李宝筏, 区颖刚, 宋建龙. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 392-397.
- [15] 蔡岗础. 油茶果采摘机三角橡胶履带轮底盘的设计与力学分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [16] 巩青松. 履带式工作车辆设计及分析的关键技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2008.
- [17] 久保田农业机械(苏州)有限公司. 久保田 4LZ-2.5(PRO688Q)型全喂入式联合收割机[J]. 农业机械, 2015(18): 20-21.
- [18] 唐忠, 李耀明, 李洪昌, 等. 切纵流联合收获机田间小麦收获最优路径与速度试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(增刊 1): 133-137.
- [19] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下册)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 893-992.