

不同倍性白菜光合特性比较

钟程, 田鑫, 蒋瑶 (凯里学院大健康学院, 贵州凯里 556011)

摘要 [目的]比较不同倍性白菜光合特性。[方法]采用 Li-6400 便携式光合测定系统对不同倍性白菜进行光响应曲线、光合速率日变化测定。[结果]四倍体白菜最大净光合速率、光饱和点和光补偿点等指标在两者之间的差异极显著,四倍体较二倍体分别提高了 38.08%、14.83% 和 44.52%。二、四倍体白菜净光合速率的日变化呈均双峰曲线,中午存在明显的光合“午休”现象。四倍体的全天最大净光合速率高于二倍体,较二倍体提高了 16.05%。[结论]白菜四倍体的光合作用强于二倍体。

关键词 不结球白菜;四倍体;二倍体;光合特性

中图分类号 S634.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)32-0055-04

Comparison of Photosynthetic Characteristics of *Brassica campestris* L. with Different Ploidy

ZHONG Cheng, TIAN Xin, JIANG Yao (College of Comprehensive Health, Kaili University, Kaili, Guizhou 556011)

Abstract [Objective] To compare the photosynthetic characteristics of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino. with different ploidy. [Method] The light response curve and the daily change of photosynthetic rate of *B. campestris* with different ploidy were measured by the portable photosynthetic measurement system Li-6400. [Result] The maximum net photosynthetic rate, light saturation point and light compensation point of tetraploid *B. campestris* showed extremely significant differences. Their tetraploid was 38.08%, 14.83% and 44.52% higher than diploid, respectively. The changes of the diurnal photosynthetic rate of the diploid and the tetraploid showed bimodal curve, the phenomenon of photosynthetic "lunch break" was obvious at noon. The maximum net photosynthetic rate of tetraploid in the whole day was higher than diploid, which was 16.05% higher than diploid. [Conclusion] The photosynthetic activity of *B. campestris* tetraploid is stronger than that of diploid.

Key words *B. campestris*; Tetraploid; Diploid; Photosynthetic characteristics

白菜 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino.), 又称小白菜、青菜、油菜等, 属十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种。暑绿具有耐热性强、品质好、产量高等特点, 在我国南方蔬菜周年供应中占有重要地位^[1]。

四倍体表现出巨大性且营养品质明显提高、抗性强等特性^[2-3]。白菜的抗逆性很大程度上与光合特性有关, 有关染色体倍性与光合作用的关系在园艺植物中屡见报道。徐伟钰等^[4]、吕炜^[5]发现对四倍体萝卜光合作用强于二倍体。李蕾等^[6]研究表明杜仲四倍体的光合性能优于二倍体。张杰等^[7]指出四倍体青花菜的净光合速率明显高于二倍体, 万正林^[8]发现四倍体黑皮冬瓜的光合性能更强, 然而有关二、四倍体白菜光合特性方面的研究较少。鉴于此, 笔者采用 Li-6400 便携式光合测定系统对不同倍性白菜进行光响应曲线、光合速率日变化测定, 旨在探明白菜倍性与光合间的关系, 为园艺植物多倍体育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试材料。二倍体暑绿由南京农业大学园艺学院提供, 同源四倍体白菜由实验室利用秋水仙素子叶期诱导二倍体暑绿获得。

1.2 方法

1.2.1 试验地点与栽培方法。 试验于 2016 年在凯里学院园艺实验站进行, 材料于 2016 年 8 月 15 日播种, 9 月 17 日定

植, 株行距 60 cm×60 cm, 常规管理。

1.2.2 光响应曲线测定。 于晴天 9:00—11:00 取第 14 片叶进行标记, 用 Li-6400 便携式光合测定仪设定 CO₂ 浓度为当前大气 CO₂ 浓度[当前大气 CO₂ 浓度±20 μmol/(m²·s)], 叶温为 (25±1) °C, 叶室内相对湿度为 (50±10)%, 测定其在 0、500、1 000、1 500、2 000 μmol/(m²·s) 光强下单位叶面积的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i), 各测 3 片叶, 重复 3 次。求出光饱和点 (LSP)、最大净光合速率 (P_{max})、表观量子效率 (AQY)、光补偿点 (LCP)、暗呼吸速率 (R_d)^[6]。

1.2.3 光合速率日变化测定。 2013 年 10 月下旬在白菜莲座期, 选择晴天用 Li-6400 便携式光合测定仪, 7:00—19:00 测定二、四倍体材料的功能叶片 (从基部往上第 5 片叶) 的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i)、水分利用效率 (WUE), 每份材料取 3 株, 每隔 2 h 测定 1 次, 并计算平均值。

2 结果与分析

2.1 二、四倍体光合速率对光响应曲线的比较 由图 1 可知, 随着光强的增加, 二倍体和四倍体的 P_n 均明显增大, 四倍体较二倍体变化相对平缓且显著高于二倍体。当光强达到 1 750 μmol/(m²·s) 时, P_n 出现最大值。此后, 光合有效辐射继续增加, 净光合速率逐渐下降。由表 1 可知, 四倍体的光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 均显著高于二倍体, 分别比二倍体增大 14.83% 和 44.52%, 说明四倍体利用强光的能力增强; 四倍体最大净光合速率 (P_{max}) 显著高于二倍体, 比二倍体增大 38.08%。表观量子效率 (AQY) 一定程度上可代表植株光合作用对弱光的反应能力^[7]。四倍体的 AQY 比二倍体减少 12.50%, 说明它耐弱光的能力降低; 暗呼吸速率 (R_d) 比二倍体增大 18.87%, 说明四倍体代谢旺盛。

基金项目 凯里学院园艺学一流教学团队 (TDYL1802); 凯里学院园艺一流专业 (ZYYL1801); 贵州省教育厅自然科学研究项目“贵州省特有大豆资源突变体的人工诱导及选育”[黔教合 KY 字 (2014) 310]; 贵州省科学技术基金“贵州省大豆突变体的人工诱导及高产、优质、多抗品种的选育”[黔科合 J 字 (2014) 2151]; 凯里学院校级规划课题“黔东南州百合野生资源的收集与耐盐性评价”[Z1702]。

作者简介 钟程 (1985—), 女, 重庆人, 副教授, 博士, 从事蔬菜遗传育种研究。

收稿日期 2018-09-19

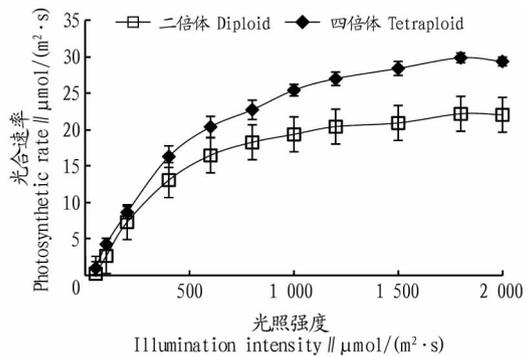


图1 光照强度对净光合速率的影响

Fig.1 Effects of illumination intensity on net photosynthetic rate

表1 二、四倍体的光响应曲线参数的比较

Table 1 Comparison of the parameters of response curves of diploid and tetraploid

 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

项目 Item	P_{\max}	AQY	LSP	LCP	Rd
二倍体 Diploid	27.47 ± 0.29 aA	0.063 ± 0.010 aA	$1\ 189.81 \pm 0.58$ aA	42.79 ± 0.06 aA	1.96 ± 0.01 aA
四倍体 Tetraploid	37.93 ± 0.04 bB	0.056 ± 0.010 bA	$1\ 366.31 \pm 0.59$ bB	61.84 ± 0.57 bB	2.33 ± 0.03 bB

注: 同列不同大写字母表示在 0.01 上差异极显著; 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

Note: Different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level; different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

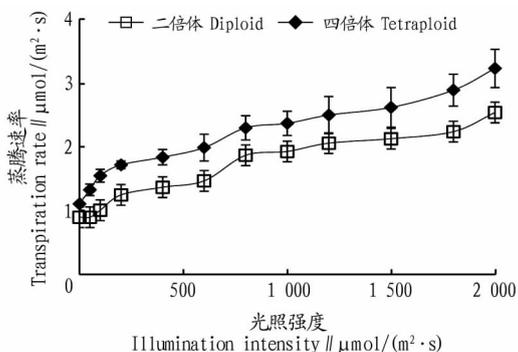


图2 光照强度对蒸腾速率的影响

Fig.2 Effects of illumination intensity on transpiration rate

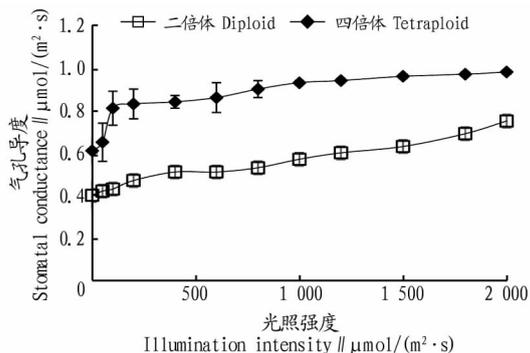


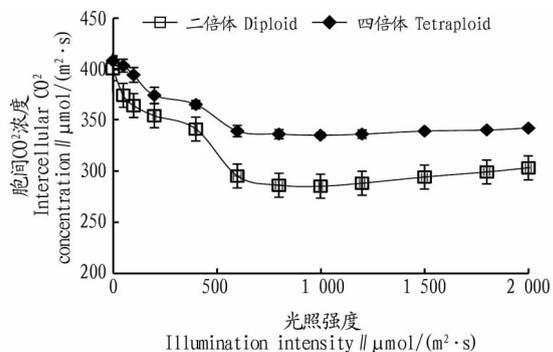
图3 光照强度对气孔导度的影响

Fig.3 Effects of illumination intensity on stomatal conductance

2.4 胞间 CO_2 浓度 由图 4 可知, 当光强达 $400 \sim 600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 胞间 CO_2 浓度急速下降, 幅度较大; 当光强达 $1\ 500 \sim 2\ 000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 胞间 CO_2 浓度缓慢增加; 其他光强下趋于平缓。同一光强下, 四倍体始终高于二倍体。

2.2 蒸腾速率 由图 2 可知, 光强为 $0 \sim 500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 蒸腾速率增长较快; 随着光合有效辐射的增大, 二、四倍体的蒸腾速率增加的变化趋势一致; 当光强达 $600 \sim 750 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $1\ 500 \sim 2\ 000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 蒸腾速率剧烈增加。相同光强下, 四倍体显著高于二倍体, 可见四倍体具有较强的气体交换能力。

2.3 气孔导度 由图 3 可知, 随着光强的增加, 二、四倍体的气孔导度增长较平缓 [除光强为 $0 \sim 100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 四倍体的气孔导度增长较快外], 气孔导度对光合速率的响应变化趋势和蒸腾速率几乎完全一致, 气孔导度和蒸腾速率有很强的相关性和一致性, 说明气孔导度是蒸腾速率最主要的决定因素之一。

图4 光照强度对胞间 CO_2 浓度的影响Fig.4 Effects of illumination intensity on intercellular CO_2 concentration

2.5 植株叶片净光合速率的日变化 由图 5 可知, 二、四倍体白菜的净光合速率的日变化有明显差异。在 $11:00 \sim 15:00$ 四倍体显著高于二倍体, 二、四倍体叶片净光合速率日变化均呈双峰曲线, 第 1 个峰值出现在 $11:00$ 左右, 第 2 个峰值出现在 $15:00$ 左右, 二、四倍体均有“午休”现象, 出现在 $13:00$ 前后, 由于气孔关闭, 光合作用减弱, 两者净光合速率下降并重合。

2.6 植株叶片蒸腾速率的日变化 由图 6 可知, 二、四倍体白菜的蒸腾速率日变化均呈双峰曲线, 两者差异不明显, 均在 $7:00$ 以后迅速上升, 在 $11:00$ 左右出现第 1 个峰值, $15:00$ 左右出现第 2 个峰值, 然后开始直线下落。

2.7 植株叶片气孔导度的日变化 由图 7 可知, 二、四倍体白菜的气孔导度日变化与净光合速率的日变化趋势较一致, 四倍体在 $11:00 \sim 15:00$ 显著高于二倍体, 二、四倍体叶片净光合速率日变化均呈双峰曲线, 第一个峰值出现在 $11:00$ 左右, 第二个峰值出现在 $15:00$ 左右, 二、四倍体均有“午休”现

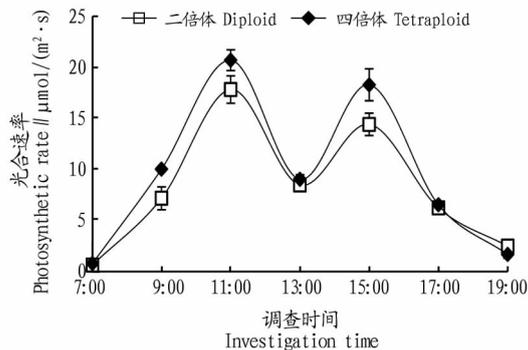


图5 不同调查时间净光合速率的日变化

Fig.5 Diurnal variation of net photosynthetic rate at different investigation times

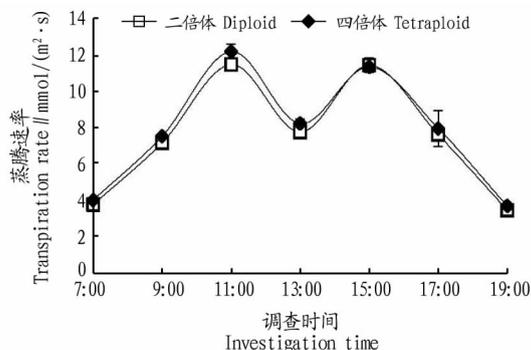


图6 不同调查时间蒸腾速率的日变化

Fig.6 Diurnal variation of net transpiration rate at different investigation times

象,出现在 13:00 前后,由于气孔关闭,两者气孔导度下降。但与净光合速率不同的是,两者并不重合且二倍体较四倍体稍高。

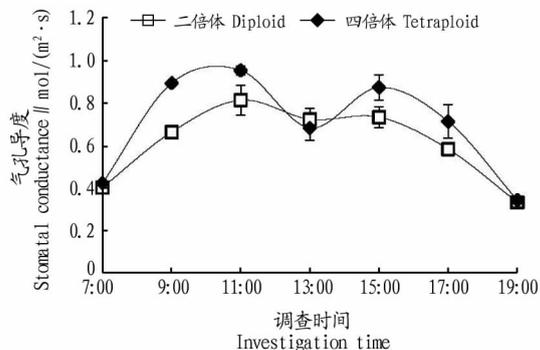
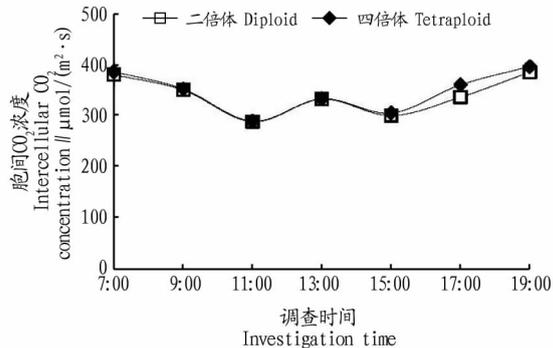


图7 不同调查时间气孔导度的日变化

Fig.7 Diurnal variation of stomatal conductance at different investigation times

2.8 植株叶片胞间 CO₂ 摩尔分数的日变化 由图 8 可知,二、四倍体白菜的胞间 CO₂ 摩尔分数日变化与前面三者变化趋势明显不同,但二、四倍体的变化趋势一致。除 17:00 以外,其他时间点均重合,在 7:00—11:00 逐渐降低,在 11:00—13:00 逐渐增加,在 13:00—15:00 逐渐降低,15:00 以后逐渐升高,在 17:00 时四倍体稍高于二倍体。可见二、四倍体的光合“午休”现象与胞间 CO₂ 摩尔分数之间没有必然联系。

2.9 植株叶片水分利用率的日变化 由图 9 可知,二、四倍

图8 不同调查时间胞间 CO₂ 浓度的日变化Fig.8 Diurnal variation of intercellular CO₂ concentration at different investigation times

体白菜的水分利用率的日变化与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度的变化趋势一致,四倍体在 9:00—11:00、15:00 显著高于二倍体,二、四倍体叶片净光合速率日变化均呈双峰曲线,第 1 个峰值出现在 11:00 左右,第 2 个峰值出现在 15:00 左右,二、四倍体的“光合午休”在 13:00 前后,此时气孔关闭、光合作用减弱、光合速率下降、水分利用率降低。

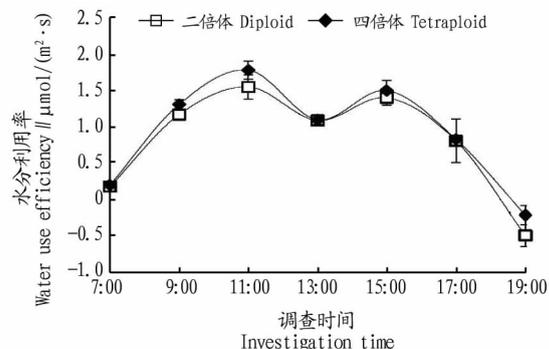


图9 不同调查时间水分利用率的日变化

Fig.9 Diurnal variation of water use efficiency at different investigation times

3 结论与讨论

光合作用是植物体内极为重要的代谢过程,它的强弱对于植物的生长、发育和抗逆性都有十分重要的影响^[9-11]。伍维模等^[12]指出在光响应曲线中,光饱和点反映了植物利用强光的能力,光补偿点和表观量子效率是植物利用弱光能力的重要指标。该研究表明,四倍体的光饱和点比二倍体提高了 14.83%,说明四倍体能比二倍体更好地利用强光,二倍体光补偿点低于四倍体,且表观量子效率高于四倍体,说明其利用弱光的能力高于四倍体。四倍体的耐荫性强,在弱光下仍有同化物的积累;另外,四倍体的最大净光合速率比二倍体提高了 38.08%,表明四倍体比二倍体积累同化物的能力强,这与李蕾等^[6]对杜仲的研究结果一致。二、四倍体的蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 随光强的变化趋势与杜琳等^[10]在白桦上的研究结果一致,净光合速率不断加强使得胞间 CO₂ 急剧降低;随着光强的加大,光照对气孔的刺激加强,导致气孔开张,胞间 CO₂ 摩尔分数表现出上升趋势;随着光强的不断增加,空气相对湿度降低,增大了叶片与大气间

的水势差,使得蒸腾速率增加。四倍体和二倍体对光强的适应不同,在高光强下,四倍体的气孔导度比二倍体大,这可能是四倍体在高光强下净光合速率较高的原因之一。该研究结果与刘剑锋等^[13]、万寅生等^[14]、尹艳等^[15]、李红等^[16]的结果一致。

从二、四倍体的光合作用日变化来看,光合速率的日变化呈双峰曲线,存在“午休”现象,四倍体的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均高于二倍体。这与徐苏婷等^[17]研究的黄毛草莓光合速率日变化一致。上午随着光强和温度的升高持续增大,2个峰值分别为11:00和15:00,谷值出现在13:00,并且第1峰值高于第2峰值,最高峰值出现在11:00左右。四倍体的全天最大净光合速率达到 $20.67 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比二倍体高16.05%。二、四倍体净光合速率的差异可能来自于气孔因素,四倍体的气孔导度比二倍体高,有利于细胞间隙 CO_2 随净光合速率的增大而得以不断补充,从而保持较高的胞间 CO_2 摩尔分数。出现光合“午休”现象可能是由于中午光合机构吸收的光能超过光合作用所能利用的量时,过剩的光能会导致光抑制的发生^[18]。综上所述,四倍体的光合作用强于二倍体。

参考文献

- [1] 徐丽娟,周鸿章,张蜀宁,等.优质、抗热同源四倍体不结球白菜的创制及鉴定[J].福建农业学报,2014,29(5):449-453.
[2] 卢秋稳,吕炜,张蜀宁,等.优质晚抽薹四倍体不结球白菜的创制及特性[J].南京农业大学学报,2015,38(5):757-763.

- [3] 韩业飞,张蜀宁,张宇,等.优质、矮紧凑型白梗同源四倍体不结球白菜的诱导及选育[J].南京农业大学学报,2014,37(2):15-20.
[4] 徐伟钰,张蜀宁,万双粉,等.二、四倍体萝卜光合特性比较研究[J].中国生态农业学报,2008,16(1):164-167.
[5] 吕炜.十字花科主要作物同源四倍体创制及转录组分析[D].南京:南京农业大学,2015.
[6] 李蕾,张伟超,郭婧,等.杜仲四倍体与二倍体光合特性比较[J].北方园艺,2012(6):35-38.
[7] 张杰,张蜀宁,徐伟钰,等.二、四倍体青花菜净光合速率日变化及其影响因子的相关和通径分析[J].江苏农业科学,2006(6):220-223.
[8] 万正林.同源四倍体黑皮冬瓜新种质的创制及其生理特性和低稔性机理研究[D].南宁:广西大学,2018.
[9] 刘厚诚,陈细明,陈日远,等.缺镁对菜薹光合作用特性的影响[J].园艺学报,2006,33(2):311-316.
[10] 杜琳,李永存,穆怀志,等.四倍体与二倍体白桦的光合特性比较[J].东北林业大学学报,2011,39(2):1-4.
[11] 于永畅,王厚新,李承秀,等.四倍体与二倍体紫薇光合特性研究[J].中国农学通报,2013,29(22):10-14.
[12] 伍维模,李志军,罗青红,等.土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用—光响应特性的影响[J].林业科学,2007,43(5):30-35.
[13] 刘剑锋,程云清,刘春明,等.不同倍性高山红景天种质叶片光合特征的比较研究[J].中国中药杂志,2011,36(12):1547-1552.
[14] 万寅生,刘惠吉.二倍体与四倍体矮脚黄白菜光合特性比较[J].中国蔬菜,1988(1):38-39.
[15] 尹艳,赵德刚,党伯岳,等.头花蓼优质种源筛选及其四倍体质量评价研究[J].种子,2015,34(11):55-57.
[16] 李红.甜叶菊同源四倍体种质创新及生物学特性比较[D].南京:南京农业大学,2013.
[17] 徐苏婷,陈露茜,李钧敏.二倍体与四倍体黄毛草莓的光合特性[J].江苏农业科学,2018,46(5):110-112.
[18] 穆怀志,林琳,于建国,等. NaHCO_3 胁迫下白桦四倍体表型及生理分析[J].北华大学学报(自然科学版),2016,17(5):585-589.

名词解释

扩展总被引频次:指该期刊自创刊以来所登载的全部论文在统计当年被引用的总次数。这是一个非常客观实际的评价指标,可以显示该期刊被使用和受重视的程度,以及在科学交流中的作用和地位。

扩展影响因子:这是一个国际上通行的期刊评价指标,是E·加菲尔德于1972年提出的。由于它是一个相对统计量,所以可公平地评价和处理各类期刊。通常,期刊影响因子越大,它的学术影响力和作用也越大。具体算法为:

$$\text{扩展影响因子} = \frac{\text{该刊前2年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该刊前2年发表论文总数}}$$

扩展即年指标:这是一个表征期刊即时反应速率的指标,主要描述期刊当年发表的论文在当年被引用的情况。具体算法为:

$$\text{扩展即年指标} = \frac{\text{该期刊当年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该期刊当年发表论文总数}}$$

扩展他引率:指该期刊全部被引次数中,被其他刊引用次数所占的比例。具体算法为:

$$\text{扩展他引率} = \frac{\text{被其他刊引用的次数}}{\text{期刊被引用的总次数}}$$

扩展引用刊数:引用被评价期刊的期刊数,反映被评价期刊被使用的范围。

扩展学科扩散指标:指在统计源期刊范围内,引用该刊的期刊数量与其所在学科全部期刊数量之比。

$$\text{扩展学科扩散指标} = \frac{\text{引用刊数}}{\text{所在学科期刊数}}$$

扩展学科扩散指标:指期刊所在学科内,引用该刊的期刊数占全部期刊数量的比例。

$$\text{扩展学科扩散指标} = \frac{\text{所在学科内引用被评价期刊的数量}}{\text{所在学科期刊数}}$$

扩展被引半衰期:指该期刊在统计当年被引用的全部次数中,较新一半是在多长一段时间内发表的。被引半衰期是测度期刊老化速度的一种指标,通常不是针对个别文献或某一组文献,而是对某一学科或专业领域的文献的总和而言的。

扩展H指数:指该期刊在统计当年被引的论文中,至少有h篇论文的被引频次不低于h次。

来源文献量:指来源期刊在统计当年发表的全部论文数,它们是统计期刊引用数据的来源。

文献选出率:按统计源的选取原则选出的文献数与期刊的发表文献数之比。