

????????

????????????? ?????? ? ?????????????? ?????, ?????????????? ?????????? ??????, ?????????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????? [1]. ?????????? ?????????????, ?????????? ?????????? ??????????, ?????????? ??? ? ?????????????? ?????? ? ?????????? ?????????? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ?????????? ?????? [2]. ?????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ? ?????????????? ?????????? ?????? ?????????? ? ?????????????? ??????????, ?? ?????? ?????? ?? ? ?????????-????????????? ?????? ? ??????????????

?????? ?????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ??????????-????????????????? ?????????? ??????, ?????????????? ?? ?????????????? ?????? ?????, ?? ?????? ? ??? ?????????? ?????? ?? ?????????? ??????????????, ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????????, ? ?????? ?????????? ?????????????????? ?????? ?? ?????? ? ?????????????????? ?????????? ?????????? ?????????? (???) [3]. ?????????????????? ? ?????????????????? ?????? ?????? ?????????????? ? ?????????????? ?? ??? ?????????, ?????????????????????? ? ?????? ?????? ??????????. ?????? ?? ?????????????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?? ?????????????????? ?????????? ??????????????????, ?? ? ?????????? ? ?????????????????? ?????????? ? ?????????? ?????? ??????????. ?? ??? ?????? ?? ?????? ?????????????????? ?????????????? ?????????????????? ?? ?????????????????? ??????, ?? ?????????? ?????????? ? ?????????????????????? ?????? ?????????? ??????????. ? ?????? ? ??? ?????? ?????????? ? ?????????????????? ?????? ??????????, ? ?????? ?????????????? ? ?????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????????????? ? ?????? ?????????? ? ?????????? ??????????????????????

????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ??? *Quercus* ?????????? ?????? ?????????, ?????????? ?????????????? ? ?????????? ?????? ?????? ?????????? – ? ?????????? ?????????????? ?? ?????????????? ?????? ?????? [4,5]. ? ?????????, ?? ?????????? *Quercus robur* L. ?????????? ?????????????????? ?????? ?????? ? ?????????? ?????????????????????? ?????? ?????? [6]. ?????????? ?? ??, ?? ??? ?????????????????? ?????? ??? ?????????? ?????????? ?????????????????????? ?????? *Quercus* [7], ?????????????? ?????????? ?????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?????? ? ? ?????????? ?????????????????? ?????????? [8]. ?? ?????????????????? ? ?????? ? ?????????? ?????????? ?????????????????? ? ?????????? ?????? ?????????, ?????????? ?????? ?????????????????? ?????? ?????? [7, 9, 10-12]. ? ?????? ?????????? ?? ?????? ?????????????????? ?????? ?????? ?????????????????? ?? ?????????????????? ??????????????, ?? ? ?????? «????????????? ??????» ?????? ?????? ?????????, ?? ?????????????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?????, ?????? ?????????????????? ??????. ?????? ?????? ?? ?????????????????? ?????????? ? ?????? ?????????? ??-?? ?????????????? ?????????????? ??????, ?????? ?????????? ??????????????????, ?????? ?????????????? ?????????? ?? ?????? ?????? ?????????? ? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? [13]. ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ??????-????????????????? ?????????, ?????????? ?? ?????????????????? ??????-????????????, ?????????? ?????? ?????????? ? ?????????? ?????????? ?????????? [14].

????? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ?????? ? ?????? ? ?????? ?????????????????????? ?????????????????? ?????????? ??? ?????????????? *Q. robur* L. ? ?????????????? ?????????????? RNA-seq. ? ?????? ?????????? ?????????? ?????????????????? ?????????????????????? ?????, ?????? ?? ?????????????????? ?????? ? ?????????????????? GO-????????????????? ? KEGG-?????, ? ?????? ?????????????????? ?????????? ?????-????????????, ?????????????? ?????????????????? ?? ?????????? ?????????????????? ? ?????????? ??????

????????? ? ??????

????????????????? ??????????

? ?????? ??? ?????????????? ?????????, ?????????? ?? ?????? 46-????? ??? ?????????? *Q. robur* L ?? ?????????????? ?????? ?????????? ? ?????????????? ?????? (????????????? ?????? ?????????? ?????????, 51°42'47" ?.; 38°57'08" ?.). ?????? 339/57, ?????????? ?????? ??? ? ?????? ???, ?????????????????? ?? ?????? ?????? ? ?????????? ???, ??? ?????? ?? ?????? ?????????????? ??????????, ?????? ?????? ?????? 1992 ? 2010 ?????, ?? ??????, ?????????????? ? ?????? ??????. ?????? ?????????????????? ? ?????? ?????? ? 4-????????? ?????? ? ?????????????????? ?????? ?????????????????? ?????????? ?????? ? ?????????? (3:1).

????????? ??????????????

????????? ?????? ?????????? ?? ?????????? ?????????? ??????????????, ?????????????? ?????? ?????????? ?? ?????? ?????????? ?????????? ?????? (??). ?????????????? ?????????? ?????????????? ?? 80±5% ??, ? ?????? ?????????? – ?? 45±5% ???. ?? ?????????????? ?????????? ?? ?????? ?????? ?????????? ?? ??? ? ?????? ? ?????????? ?????????? ?????, ?????? ?????? ??????. ?????? ??? ?????????????????? ? ?????? 60 ?????? ??????????????. ?????????? ?????????? ?????????? ? ? ?????? ??????????????, ?????????????? ?????? ?????????????? ?????????????????? ? ?????? ?????? ? ?????? ?? ?????????????? -80°C ?? ?????????????? ??????????????

RNA-Seq

????????? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ? ?????? ?????? ? ??????????, ?????? ??? ?????????? ?????????? ?? ? ?????????????????? ?????????????????????? ?????????? CTAB [48]. ?????? ?????? ?????? ?????????????? ?? ?????????? ??, ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????????????????? ? ??????????????, ?????????????? ?????????? ? ?????????????? ?????????? ?????????????? ??????????????. ?????????????? ?????? ?????????????? ? ?????????????????? ?????, ?????????? 2% ?????????????????????? (??), 100 ?? ???-HCl (pH 8,0), 20 ?? ???, 1,4 ? NaCl, ? ?????????? ? ?????????????????? ?????????? ?? 40 ?????? ?? ?????????????? 65°C. ?????????????? ?????? ? ?????????????????? ?????? ?????????? 1:10, ?? ?????????????? ?????????????? ??????????. ?????????? ?????? ?????????? ? 50 ?? ?????????????????? ?????? ? ?????? ?? ?????????????? -80°C ?? ?????????????? ??????????????

???????? ???? ????????? ?????? ?????????????? ? 1% ?????????? ???? ? ?????????? ??????. ?????????????? ?????????? ???? ?????????? ? ?????????? VilberLourmat (????????). ?????????????? ??? ?????????? ?? ???????????? Qubit 2.0 ? ???????????????? ?????? RNA BR Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, ???).

??????????? ??? RNA-Seq ??? ?????????????? ? ?????? ?????? TruSeq Stranded mRNA (Illumina) ? ?????????????? ? ???????????? ??????????????. ?????????? ???????????? ?????????????? ?? ?????????? Illumina Novaseq 6000. ?????????? ?????? ?????????????????? ??? ???????????????? ? ?????????????????? ????

?????? ??????

????????????????? ??? ??? ???????????????? ?? ?????????? ?????????????????????? ??????? ?????????? ? ??????? FastQC (v. 0.74) [49] ? Trimmomatic (v. 0.39) [50]. ??? ?????????? ?????????? ??? ?????????????? ? ?????????????? ??????? GCF_932294415.1 (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/genome/GCF_932294415.1/) ? ?????????????????? ?????????????? ??????? Galaxy [51] ? hisat2 (v. 2.2.1) [52] ?? ?????????????? ?????????????? ??????????????????????

????????????????? ?????? ???????????????????? ?????????? ?????????? ? ??????? ?????? featureCounts (v. 2.0.3) [53] ? DESeq2 (v. 1.44.0) [54]. ?? ?????????? ??????? ??????? ?????????? ?? ?????? ?????? «DESeqDataSet» ? ?????????? ??????? [design = ~ condition], ??? ?????? «condition» ?????????? ??????? ?? ?????????????? ?????? ? ?????????????????????? ?????? (????????, ???????????????? ?????????????? ???????). ?????? ?????????? ??? ?????????????????? ??? ? ?????????? ?????????????? ?????? ?????? 10 ?? ??? ??????? ?????????.

????????????????? ?????????????????????? ?????????? ???, ?????????????????? ??? ??????????. ???????????????????? p-value (padj) < 0.05 ???????????????? ?? ?????? ?????????????????? ??????????, ? ?? ?????? ?? ?????????? ?????????? $\log_2FC > 1 -$??? ?????? ???????????????? ??????????. ??? $\log_2FC$?????????????????? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? (log₂FC > 0), ??? ? ?????????? (log₂FC < 0) ??????. ???????????????? ?????? |log₂FC| > 1 ?????????? ??? ???????????? ???????????? ??????????, ??? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ??????????

?????? ???????????? Gene Ontology (GO-?????) ? ?????????????????? ?????? ??? ?? ?????? ?????????????????? ??? (KEGG) ??? ?????????? ? ??????? ??????-????????????? DAVID (<https://davidbioinformatics.nih.gov/>) [55]. ??? ?????????? ???????????????? ??????? ?????????????? GO-????????? ?????????????????? ?????????????????????? ????. ???????????? p-value ??? ?????????????????? ??? ?????????? ??????? ??????? ?????????? ??????? ??????????????-?????????. ?????? ???????????? ?? ?????????????????????? p-value ?? ?????????? ?? ?????? < 0.05.

??????????????? ?????????????? GO-??????? ? ?????????????? DESeq2 ??? ?????????? ? ?????????????????? ??????? ggplot2 (v. 3.5.0) ? GOPlot (v. 1.0.2) [56] ? R (v. 4.4.0) ? ?????????? matplotlib (v. 3.10) ? pandas (v. 2.2.3) ? Python3 (v. 3.13.0).

????????????

?? ?????????? ?????? ?? ?????? ?????? ? ?????????????????? ? ?????? ?????????? *Q. rot* . ? ?????????????????? ?????????? ?????? ??? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????????????? ??????. ?????????????????? ?????? ???-????????????????? ? ?????????? ?????????????????? ? ?????????????? (GCF_932294415.1) ?????????? ??? (????, 1, ???, S1).

?????? ?????????? Q30 ?????????? ?????? ?????????' ≤87.48%, ??? ???????????????? ?????????? ?????????? ? ?????????????????? ?????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ? ??????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ? ???????????????? ?????????????? ?????????????????????? ??????. ???????????? ?????????????? ?? ?????????????? ?????? ?????????? ?????????????????????? ?????????? (≥90.33%) ? ??? ???????????????? ?? ?????????? ?????????????????????? ???????????? ??????