????????

??????????? ??????? ? ????????????? ?????, ????????????? ?????????? ???????, ??????????? ????? ???????? ?????? ????????? ?????? ???????? [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

???????????? ??? ?????? ????????????? ?????????, ? ?? ????? ??? ????????? ???????? $\log_2$FC > 1 – ??? ?????? ???????????? ?????????. ???? $\log_2$FC ????????????? ??? ???????? ???????? ????????? ??????? ?????????????? ??????? ????????? ????? ???????????????? ? ?????????? ????????. ?????? ??????? ????????? ?????????? ????????? ??? ????????? ($\log_2$FC > 0), ??? ? ????????? ($\log_2$FC < 0) ?????. ???????????? ????? |$\log_2$FC| > 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%) ? ???? ??????????? ??? ??????? ?????????????? ????????? ?????.